

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Mecànica**

**APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC I EL SEU ANÀLISI  
GRÀFIC VIRTUAL**



**Memòria i Annexos**

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| <b>Autor:</b>        | Aleix Jordà i Ferrer             |
| <b>Director:</b>     | Oscar Farrerons Vidal            |
| <b>Departament:</b>  | Expressió Gràfica a l'Enginyeria |
| <b>Convocatòria:</b> | Octubre del 2017                 |



## **Resum**

La principal finalitat d'aquest treball de fi de grau és l'aplicació, a un prototip d'ascensor, de l'estudi de la precisió d'un motor amb encoder, dispositiu usat per determinar amb exactitud la posició i velocitat d'aquest, tenint presents en tot moment els components magnètics que el fan funcionar i alhora comparar el comportament real amb el seu reflex virtual.

Per aconseguir-ho s'ha dissenyat un motor virtual a partir del comportament real d'aquests i se n'ha escollit un amb les especificacions adients per tal de poder controlar digitalment el prototip real. S'ha reproduït exactament els moviments reals del motor i prototip ascensor amb les seves reproduccions virtuals amb un programa CAD per tal d'estudiar i calcular les seves transmissions de moviment.

D'altra banda s'ha estudiat digitalment un encoder per veure gràficament el comportament que té i quina és la seva funcionalitat dins de l'aplicació. Alhora, s'ha confeccionat un programa electrònic que controla, per mitjà d'interfícies entre l'ordinador i el motor, la posició exacte del motor per tal d'aplicar-ho al prototip del motor.

## Resumen

La principal finalidad de este trabajo de fin de grado es la aplicación, a un prototipo de ascensor, del estudio de la precisión de un motor con encoder, dispositivo usado para determinar con exactitud la posición y velocidad de este, teniendo presente en todo momento los componentes magnéticos la cual lo hacen funcionar y a la vez comparar el comportamiento real con su reflejo virtual.

Para conseguirlo se ha diseñado un motor virtual a partir del comportamiento real de estos y se ha escogido uno con las especificaciones idóneas para poder controlar digitalmente el prototipo real. Se han reproducido exactamente los movimientos reales del motor y prototipo de ascensor con las reproducciones virtuales con un programa CAD para poder estudiar y calcular sus transmisiones de movimiento.

Por otra parte se ha estudiado digitalmente un encoder para poder ver gráficamente el comportamiento que tiene y cuál es su función dentro de la aplicación. A su vez, se ha confeccionado un programa electrónico que controla, mediante interfaces entre el ordenador y motor, la posición exacta del motor para aplicarlo al prototipo del motor.

## **Abstract**

The main purpose of this final bachelor degree thesis is the application, to a prototype elevator, the study of the precision of a motor with an encoder, a device used to accurately determine the position and speed of this system. But keeping in mind all the time the magnetic components that make it work and at the same time compare the real behaviour with its virtual design.

To achieve this, a virtual engine has been designed based on their real behaviour and a real engine has been chosen with the appropriate specifications in order to be able to digitally control the constructed prototype. Exactly real engine movements and elevator prototype have been reproduced with their virtual designs with a CAD program, to study and calculate their transmissions of movement.

On the other hand, an encoder has been digitally studied to see graphically the behaviour it has and what the functionality in the application is. At the same time, an electronic program has been created to control the exact position of the engine, through the interfaces between the computer and the engine, in order to apply it to the engine prototype.



## Glossari

**Encoder:** És un dispositiu o algoritme que converteix la informació d'un format a un altre. Els encoders de motor poden monitoritzar electrònicament la posició de l'eix de rotació.

**Transductor:** És qualsevol aparell que converteix un tipus de magnitud física a un altra. Normalment és la conversió d'energia mecànica a elèctrica.

**Fotoacopladors:** Sistema d'emissió i recepció d'un senyal lumínic emesa per un díode LED. D'aquesta manera es combinen en un sol dispositiu un fotoemissor i un fotoreceptor.

**PPR:** Prové de les sigles de l'anglès "Pulse Per Revolution" i on la traducció literal és "pols per revolució". Es refereix al nombre d'unitats mesurades en una volta d'un encoder rotatiu.

**Senyal de quadratura:** Correspon a l'emissió d'uns senyals provinents de dos sensors desfasats  $90^\circ$  en la seva posició i molt utilitzat en encoders rotatius incrementals.

**Efecte Hall:** Consisteix en l'aparició d'un camp elèctric en un conductor quan és travessat per un camp magnètic.

**SI:** Són les sigles del Sistema Internacional d'Unitats, un sistema per normalitzar les unitats estàndard.

**Arduino:** És una plataforma de hardware lliure, basada en una placa amb un microcontrolador i un entorn de desenvolupament, dissenyada per facilitar l'ús de l'electrònica en projectes multidisciplinaris.

**Labview:** És un software que proporciona un potent entorn de desenvolupament gràfic pel disseny d'aplicacions d'enginyeria d'adquisició de dades, anàlisi de mesures i presentació de dades gràcies a un llenguatge de programació més senzill.

**CC:** Són les sigles per determinar que un corrent elèctric és continu, el flux de les càrregues elèctriques no varia de sentit amb el temps.

**AC:** Són les sigles per determinar que un corrent elèctric és altern, es caracteritza per canviar al llarg del temps, ja sigui en intensitat o en sentit, a intervals regulars.

**AISI:** És la normativa americana que classifica els acers i aleacions de materials no-ferrosos. AISI és un acrònim de l'anglès de *American Iron and Steel Institute*.

**Solidworks:** És un software CAD per modelat mecànic en 3D. El programa permet modelar peces i conjunts i extreure'n d'ells tant plànols tècnics com altre tipus d'informació necessària per la producció.

# Índex

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUM</b>  | <b>3</b>  |
| <b>RESUMEN</b>  | <b>4</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>   | <b>5</b>  |
| <b>GLOSSARI</b>   | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDEX DE FIGURES</b>   | <b>10</b> |
| <b>ÍNDEX DE TAULES</b>  | <b>12</b> |
| <b>1. INTRODUCCIÓ</b>   | <b>13</b> |
| 1.1. Motivació  | 13        |
| 1.2. Objectius del treball  | 14        |
| 1.3. Abast del treball  | 14        |
| <b>2. MEMÒRIA</b>   | <b>15</b> |
| 2.1. Encoders   | 15        |
| 2.1.1. Què és un encoder?   | 15        |
| 2.1.2. Funcionament i tipus d'encoder                                 | 16        |
| 2.1.3. Resolució i precisió d'un encoder                              | 22        |
| 2.1.4. Encoders utilitzats al treball                                 | 23        |
| 2.1.5. Fenòmens magnètics: Efecte Hall                                | 24        |
| 2.1.1. Control d'un encoder   | 25        |
| 2.1.2. Estudi gràfic del comportament d'un encoder mecànic            | 26        |
| 2.2. Motors   | 30        |
| 2.2.1. Motor utilitzat al treball                                     | 30        |
| 2.2.2. Motor elèctric   | 31        |
| 2.2.3. Funcionament dels motors elèctrics i fonaments físics          | 32        |
| 2.2.4. Motor de corrent continu                                       | 36        |
| 2.2.4.1. Motors de control  | 37        |
| 2.2.5. Reductora de velocitat   | 37        |
| 2.2.5.1. Elements i conceptes que componen una reductora de velocitat | 37        |
| 2.2.5.2. Reductor de velocitat amb engranatges rectes                 | 40        |
| 2.3. Aplicació en un ascensor d'un motor amb encoder magnètic         | 44        |
| 2.3.1. Parts que el formen  | 44        |
| 2.3.2. Limitacions de la construcció del prototip al treball          | 44        |



|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| 2.3.3.         | Especificacions del motor i motius d'haver-lo escollit.....        | 45        |
| 2.3.4.         | Anàlisi dels imants permanents del motor amb encoder .....         | 45        |
| 2.3.4.1.       | Caracterització dels imants permanents de l'estator .....          | 45        |
| 2.3.4.2.       | Caracterització dels imant de l'encoder.....                       | 49        |
| 2.3.5.         | Disseny virtual del motor .....                                    | 52        |
| 2.3.6.         | Disseny i impressió 3D de politges .....                           | 62        |
| 2.3.7.         | Disseny de l'ascensor.....   | 65        |
| 2.4.           | Càlculs necessaris per a la construcció .....                      | 70        |
| 2.4.1.         | Càlcul del moviment de l'ascensor que utilitzarem.....             | 70        |
| 2.4.2.         | Relacions de transmissió de la reductora del motor .....           | 71        |
| 2.5.           | Programació i control informàtic del motor.....                    | 76        |
| 2.5.1.         | Placa controladora de doble sentit del motor. ....                 | 76        |
| 2.5.1.1.       | Circuit de pont en H .....   | 77        |
| 2.5.2.         | Connexió entre la placa i microprocessador.....                    | 78        |
| 2.5.3.         | Transmissió d'informació entre softwares .....                     | 80        |
| 2.5.4.         | Control del sistema per LabVIEW.....                               | 80        |
| <b>3.</b>      | <b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL</b> .....                        | <b>83</b> |
| <b>4.</b>      | <b>CONCLUSIONS</b> .....   | <b>87</b> |
| <b>5.</b>      | <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....  | <b>89</b> |
| <b>ANNEX A</b> | .....  | <b>92</b> |
| A1.            | Codi informàtic per la connexió entre Arduino i Labview.....       | 92        |
| A2.            | Diagrama de Blocs del sistema de control del motor .....           | 98        |
| A3.            | Fitxa tècnica del motor EMG30 .....                                | 99        |
| A4.            | Dades del Gaussímetre sobre l'imant de l'encoder .....             | 101       |
| A5.            | Dades del Espectròmetre de raig X sobre l'imant de l'encoder ..... | 104       |
| A6.            | Dades del Espectròmetre de raig X sobre l'imant de l'estator ..... | 106       |
| A7.            | Dades del polímer contingut a l'imant de l'estator i encoder ..... | 108       |
| A8.            | Característiques de la ferrita magnètica Y30BH.....                | 110       |
| A9.            | Fitxa tècnica del placa del MD25 .....                             | 113       |

## ÍNDEX DE FIGURES

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. SENYAL DESFASAT DE 90 GRAUS DE DOS CANALS D'UN ENCODER INCREMENTAL. ....                     | 17 |
| FIGURA 2. REPRESENTACIÓ DE FASES I DIRECCIONS DE GIR D'UN ENCODER AMB SENYAL DE QUADRATURA. ....       | 17 |
| FIGURA 3. REPRESENTACIÓ DEL FUNCIONAMENT D'UN ENCODER MECÀNIC. ....                                    | 19 |
| FIGURA 4. COMPONENTS D'UN ENCODER ÒPTIC. ....  | 20 |
| FIGURA 5. REPRESENTACIÓ ESQUEMATITZADA D'UN ENCODER MAGNÈTIC I ELS SEU SENYAL AMB ONES QUADRADES. .... | 21 |
| FIGURA 6. DISTÀNCIA X DIVIDIA EN 24 SEGMENTS, RESOLUCIÓ I PRECISIÓ D'UN ENCODER. ....                  | 23 |
| FIGURA 7. ESQUEMA DE L'EXPERIMENT DE L'EFECTE HALL. ....   | 24 |
| FIGURA 8. ESQUEMATITZACIÓ DE LES SORTIDES DE L'ENCODER MECÀNIC INCREMENTAL. ....                       | 26 |
| FIGURA 9. CONNEXIÓ ENCODER ROTATORI AMB LA PLACA ARDUINO. ....   | 27 |
| FIGURA 10. ESQUEMA ELECTRÒNIC DE LECTURA I DELS SENYALS D'UN ENCODER ROTATORI INCREMENTAL. ....        | 28 |
| FIGURA 11. SENYALS DIGITALS EN FORMA D'ONA QUADRADA DE L'ENCODER ROTATORI INCREMENTAL. ....            | 29 |
| FIGURA 12. PARTS QUE FORMEN UN MOTOR ELÈCTRIC [ESQUERRA] I LA SEVA DISPOSICIÓ NATURAL [DRETA]. ....    | 32 |
| FIGURA 13. PARTÍCULES CARREGADES DINS D'UN CAMP MAGNÈTIC UNIFORME. ....                                | 34 |
| FIGURA 14. REPRESENTACIÓ GRÀFICA DE LA REGLA DE LA MÀ ESQUERRA. ....                                   | 34 |
| FIGURA 15. REPRESENTACIÓ DE LA REGLA DE LA MÀ DRETA. ....  | 35 |
| FIGURA 16. FUNCIONAMENT D'UN REDUCTOR PLANETARI I IDENTIFICACIÓ DELS SEUS COMPONENTS. ....             | 39 |
| FIGURA 17. NOMENCLATURA DELS ENGRANATGES. ....   | 41 |
| FIGURA 18. RODAMENT ENTRE CIRCUMFERÈNCIES PRIMITIVES. ....   | 42 |
| FIGURA 19. DESCOMPOSICIÓ DE FORCES SOBRE UNA DENT D'UN ENGRANATGE RECTE. ....                          | 43 |
| FIGURA 20. IMANTACIÓ RADIAL DELS IMANTS I POLARITZACIÓ OPOSADA. ....                                   | 46 |
| FIGURA 21. CONTROL VISUAL DELS IMANTS DE L'ESTATOR AMB EL VISOR DE POLS. ....                          | 46 |
| FIGURA 22. COTES DELS IMANTS DE L'ESTATOR. ....  | 47 |
| FIGURA 23. ESPECTRE D'ELEMENTS QUÍMICS QUE FORMEN L'IMANT DE L'ESTATOR. ....                           | 48 |
| FIGURA 24. IMANT DE L'ENCODER I LA SEVA IMANTACIÓ. ....  | 49 |
| FIGURA 25. ESPECTRE D'ELEMENTS QUÍMICS QUE FORMEN L'IMANT DE L'ENCODER. ....                           | 50 |
| FIGURA 26. REPRODUCCIÓ DEL CAMP MAGNÈTIC DE L'IMANT DE L'ENCODER. ....                                 | 51 |
| FIGURA 27. MOTOR EMG30 REAL I EL SEU DISSENY VIRTUAL AMB VISTA TRANSPARENT. ....                       | 52 |
| FIGURA 28. DISSENY VIRTUAL DE LA CAIXA REDUCTORA A LA DRETA I LA REAL A L'ESQUERRA. ....               | 54 |
| FIGURA 29. DISSENY DE LA CARCASSA DE LA REDUCTORA A LA DRETA I LA CARCASSA REAL A L'ESQUERRA. ....     | 54 |
| FIGURA 30. MODEL VIRTUAL I REAL DE LA UNIÓ DE REDUCTORA I MOTOR. ....                                  | 55 |
| FIGURA 31. DISSENY VIRTUAL DEL ROTOR DEL MOTOR. ....   | 56 |
| FIGURA 32. VISTA DE L'EXTREM DE L'EIX. ....  | 56 |
| FIGURA 33. VISTA DEL ROTOR LAMINAT I LA BOBINA QUE EL MAGNETITZA. ....                                 | 57 |
| FIGURA 34. PART ANTERIOR DEL ROTOR ON ES SUBMINISTRA I DISTRIBUEIX EL CORRENT A LES BOBINES. ....      | 58 |
| FIGURA 35. CICLE DE SUBMINISTRACIÓ DE CORRENT ENTRE ESCOMBRETES I GALGUES EN UNA VOLTA. ....           | 59 |
| FIGURA 36. VISTA TALLADA DEL ROTOR AMB LES CONNEXIONS DEL COL·LECTOR A LES BOBINES. ....               | 60 |
| FIGURA 37. DISSENY VIRTUAL DE L'ESTATOR DEL MOTOR I EL MODEL TALLAT. ....                              | 60 |
| FIGURA 38. DISPOSICIÓ DELS IMANTS PERMANENTS DINS DE LA CARCASSA. ....                                 | 61 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 39. MODEL REAL I VIRTUAL DEL MOTOR.....  | 62 |
| FIGURA 40. MODEL REAL I VIRTUAL DE L'ENCODER. ....  | 62 |
| FIGURA 41. ÚTIL DE SUBJECCIÓ DE L'IMANT DE L'ENCODER.....   | 63 |
| FIGURA 42. DISSENYS DE POLITJA MOTORA A L'ESQUERRA I POLITJA CONDUÏDA A LA DRETA. ....                          | 64 |
| FIGURA 43. PROCÉS D'IMPRESSIÓ EN 3D I LES PECES OBTINGUDES.....   | 64 |
| FIGURA 44. CONSTRUCCIÓ DE L'ESTRUCTURA A L'ESQUERRA I DISSENY VIRTUAL A LA DRETA. ....                          | 66 |
| FIGURA 45. GUIES PEL MOVIMENT DE LA CABINA AL MODEL CONSTRUÏT. ....   | 66 |
| FIGURA 46. MODEL DE LA CABINA CONSTRUÏT A LA DRETA I DISSENYAT A L'ESQUERRA. ....                               | 67 |
| FIGURA 47. SISTEMA MOTOR DE POLITGES, CONSTRUÏT A L'ESQUERRA I DISSENYAT A LA DRETA. ....                       | 68 |
| FIGURA 48. PROTOTIP D'ASCENSOR, CONSTRUÏT A L'ESQUERRA, DISSENYAT A LA DRETA.....                               | 69 |
| FIGURA 49. ESQUEMA DE FORCES DE LES POLITGES. ....  | 70 |
| FIGURA 50. A L'ESQUERRA ES POT VEURE L'ESQUEMA DEL TREN D'ENGRANATGES, I A LA REPRODUCCIÓ AMB SOLIDWORKS . .... | 72 |
| FIGURA 51. CIRCUIT ELECTRÒNIC DE PONT EN H.....   | 77 |
| FIGURA 52. FUNCIONAMENT D'UN CIRCUIT ELECTRÒNIC DE PONT EN H. ....  | 78 |
| FIGURA 53. ESQUEMA DE CONNEXIÓ ENTRE EL MICROCONTROLADOR I EL MICROPROCESSADOR.....                             | 79 |
| FIGURA 54. CONNEXIÓ REAL ENTRE EL MICROPROCESSADOR I EL MICROCONTROLADOR. ....                                  | 79 |
| FIGURA 55. CONTROL DE COMANDAMENTS DEL SISTEMA.....   | 82 |

## ÍNDEX DE TAULES

|   |    |
|---|----|
| TAULA 1. DIMENSIONAT DELS IMANTS PERMANENTS DE L'ESTATOR .....      | 47 |
| TAULA 2. VALORS DEL CAMP MAGNÈTIC DELS IMANTS DE L'ESTATOR .....    | 49 |
| TAULA 3. DIMENSIONAT DE L'IMANT DE L'ENCODER.....                   | 50 |
| TAULA 4. VALORS RECOLLITS AL GAUSSÍMETRE DE L'IMANT L'ENCODER ..... | 51 |
| TAULA 5. ESPECIFICACIONS GEOMÈTRIQUES DELS ENGRANATGES .....        | 73 |
| TAULA 6. PARÀMETRES DEL MOVIMENT DEL TREN D'ENGRANATGES.....        | 74 |
| TAULA 7. PARÀMETRES MECÀNICS DEL TREN D'ENGRANATGES.....            | 74 |

# 1. Introducció

Molts dels mecanismes actuals estan controlats electrònicament i per dur a terme un moviment en concret cal una programació electrònica, un seguit de sensors, fonts d'alimentació ... Tota la instal·lació té un cost elevat, un constant manteniment i ocupa espai físic que a vegades pot ser excessiu. En el cas de la producció industrial els motors són els principals impulsors dels sistemes de producció i sovint venen acompanyat de molts aparells complementaris per controlar-ne i regular-ne el moviment. El desenvolupament tecnològic ens porta cada vegada més cap a un món més informatitzat, on la versatilitat de reprogramar i adaptar-se ràpidament als nous canvis és molt important per seguir competint al mercat.

És per això que aquest treball pretén estudiar un control més informatitzat del moviment d'un motor i aconseguir la informació d'aquest des de dins del mateix motor i no pas per la informació rebuda per sensors externs del sistema. En aquest projecte s'estudiarà el funcionament d'un motor de corrent continua i la tecnologia que pot controlar-lo, per tal de verificar que tindria una bona sortida al mercat. El control informatitzat del moviment del motor fa que se'n pugui traslladar el mètode de control a moltes altres aplicacions, en aquest cas se'n veurà l'aplicació amb un prototip d'ascensor.

## 1.1. Motivació

Les motivacions principals que m'han dut a realitzar aquest treball són la inquietud personal per l'electrònica i la informàtica i fins a quin punt aquests dos factors poden afectar a la mecànica.

Un altre dels aspectes importants és el disseny o capacitat de desenvolupar coses noves que puguin tenir una millor funcionalitat que els mecanismes actuals. La innovació i l'eficàcia són uns dels reptes més importants per un enginyer.

D'altra banda he decidit aplicar aquest estudi a un prototip d'ascensor ja que sempre m'ha encuriolit el funcionament d'aquests. Tot i que la tecnologia d'un ascensor pot semblar aparentment senzilla, té molts factors que el condicionen com la gravetat, l'equilibri de forces o la precisió en les posicions, però també d'altres a tenir en compte per la fisiologia humana com són l'acceleració i velocitats d'aquests.

## 1.2. Objectius del treball

Els objectius del treball són l'aprenentatge autònom de nous programes informàtics, l'ús d'interfícies entre motor i ordinador, l'estudi del moviment d'un motor, els paràmetres a tenir en compte per dissenyar un motor, el funcionament magnètic que controla i fa girar el motor, l'adequació de materials en les peces i la comparació real i virtual del funcionament d'un sistema mecànic controlat informàticament.

## 1.3. Abast del treball

El treball pretén abraçar el disseny i programació del moviment d'un motor i aplicar-ho a un prototip d'ascensor. Degut al nombre límit d'hores destinades a la realització d'aquest treball no es pretén normalitzar l'ascensor ni fer els estudis de mercat per comparar-ne els resultats millorats, però s'ha detallat el funcionament d'un motor controlat amb un encoder i la programació electrònica i informàtica per fer-lo funcionar.

## 2. Memòria

### 2.1. Encoders

#### 2.1.1. Què és un encoder?

Un encoder, també conegut com codificador o descodificador, és un dispositiu, circuit , programa de software o algoritme al qual el seu principal objectiu és convertir informació d'un format a un altre. En poques paraules podem descriure un encoder com un dispositiu de detecció que proporciona una resposta.

Els encoders tractats en aquest treball són encoders per motors elèctrics CC, normalment usats en aplicacions industrials de tall, transport, robòtica, empaquetadores, automatització, classificació i molt més. La seva funció principal és convertir el moviment mecànic (gir de l'eix) en polsos digitals o analògics que poden ser interpretats per un controlador de moviment. D'aquesta manera es pot controlar electrònicament el moviment mecànic, ja que se sap la posició i velocitat de l'encoder.

Un seguit d'exemples on s'usen els encoders són els següents:

- En una aplicació de tall a precisió, un encoder amb una roda de mesura indica al dispositiu de control la quantitat de material que s'ha alimentat, per tant el dispositiu de control sabrà quan tallar.
- En un observatori, els encoders li diuen als actuadors quina és l'exacte posició d'un mirall mòbil que proporciona la informació de posicionament.
- En un ascensor, els encoders poden controlar les diferents posicions, velocitats i acceleracions en que moure's per tal de funcionar de manera eficaç i precisa.
- A les línies de muntatge automatitzades, els encoders donen la retroalimentació del moviment als robots. En una línia de muntatge d'automòbils, això podria significar la garantia de que els braços del robot del soldador tinguin la informació correcta per soldar en els llocs determinats.

Aquests són uns dels exemples d'ús dels encoders però en totes les aplicacions es segueix el mateix procés: un recompte es genera per l'encoder i s'envia al controlador, que seguidament envia un

senyal a la màquina per desenvolupar una funció. Quan els encoders s'utilitzen en conjunt amb dispositius mecànics tals com engranatges, rodes de mesura o motors, aquests poden ser utilitzats per mesurar moviments lineals, velocitat i posició.

### 2.1.2. Funcionament i tipus d'encoder

Per explicar com funciona un encoder s'ha de comentar que aquests poden ser de dos **dissenys** diferents, poden ser rotatius o lineals; si es compona bàsicament d'un disc connectat a un eix giratori, és rotatori, i si es tracta d'una tira referenciada, és un encoder lineal.

- Els **encoders lineals** consten d'un capçal de lectura (sensor) i un element de referència (mesura materialitzada), típicament de vidre o metall. La posició es determina seguint un patró de codi inequívoc, el sensor detecta la posició absoluta en l'element de referència i la transmet directament al sistema electrònic d'avaluació. Aquests sistemes compactes són solucions robustes, d'alta resolució i de longituds llargues.
- Els **encoders rotatius** són aquell tipus d'encoder al qual un disc gira solidari a un eix i a un extrem d'aquest disc hi ha un sensor que detecta el moviment i genera polsos elèctrics, normalment de de vidre o plàstic. L'encoder envia una quantitat de polsos per cada volta que realitza l'eix, de manera que al conèixer les mesures del mateix i l'espai recorregut per cada gir, es possible calcular el desplaçament realitzat per cada volta de l'eix. Normalment els polsos son transmesos a una interfície connectada a un ordinador on a través d'un software es podrà determinar diferents paràmetres del gir.

Existeixen bàsicament dos tipus d'encoder segons la seva **codificació**: encoder incremental i encoder absolut.

- Un **encoder incremental** genera polsos mentre es mou, i s'utilitzen per mesurar velocitats o la trajectòria de posició. Aquest no indica una posició específica, tan sols indica el canvi de posició des de l'inici del moviment.

Els encoders incrementals proveeixen un número específic de polsos equitativament espaiats per revolució (PPR) o per mil·límetre o polsada en moviment lineal. La senyal de sortida pot



ser una sola línia de polsos (unidireccional) o de dues línies de polsos (bidireccional), amb dos canals desfasats 90 graus elèctrics, veure *Figura 1*.

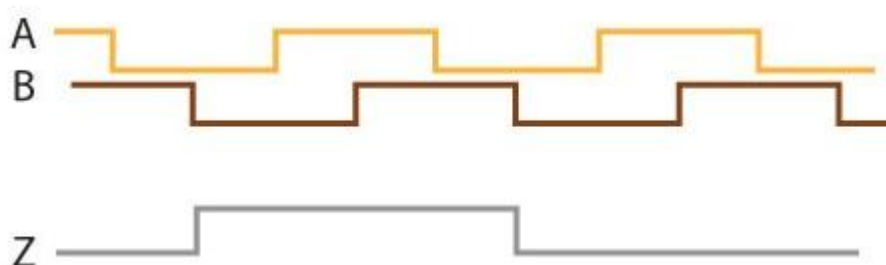


Figura 1. Senyal desfasat de 90 graus de dos canals d'un encoder incremental. (Font: <https://www.eeweb.com>)

En aquest segon cas on tenim dos canals s'anomena quadratura. El fenomen de quadratura determina la direcció del moviment basat en la fase entre ells. És a dir quan el rotor giri com les agulles del rellotge el canal A estarà avançat 90 graus respecte el canal B, però si girem en sentit contrari l'encoder detectarà el canvi i el canal B rebrà el senyal abans que el canal A, estan així avançat 90 graus elèctrics. Per identificar la direcció de gir l'encoder llegirà una seqüència de polsos en codi binari, identificant així si el gir és horari o antihorari. Veure la *Figura 2* per entendre el procés.

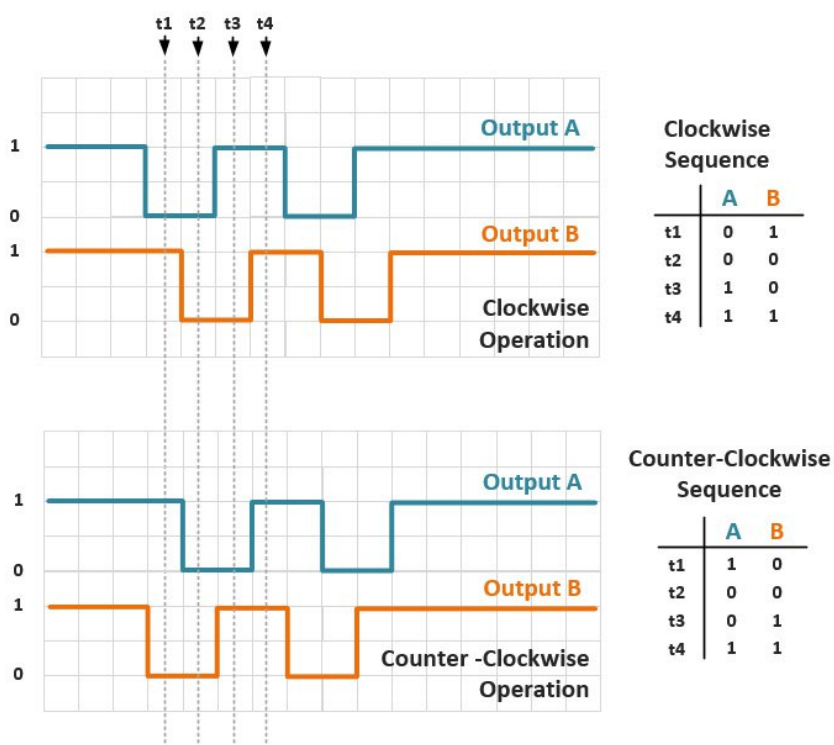


Figura 2. Representació de fases i direccions de gir d'un encoder amb senyal de quadratura. (Font: [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com))

A més a més, interpolant entre el nombre de polsos de les seves fases, pots determinar la posició a més a més de la direcció de gir.

Alguns dels detectors de quadratura inclouen un tercer canal de sortida, anomenat canal z o senyal de referència, al qual subministra un sol pols per revolució, veure *Figura 1*. Aquest pols pot ser usat per determinar amb més precisió la posició de referència. Per més precisió de lectura de la posició de l'eix, es pot arribar a assolir els 2 o fins i tot 4 polsos contats per revolució.

- Els **encoders absoluts** determinen la posició usant un punt estàtic de referència. Aquets generen multi-bits digitals, que indiquen directament la posició actual, així com la seva velocitat i la direcció del moviment. Si l'energia de subministrament de l'encoder es veu interrompuda, la posició serà coneguda quan l'energia sigui restablerta.

La resolució d'un encoder absolut està definit pel número de bits per missatge de sortida. Aquesta sortida pot ser directament codi binari o Gray, el qual produeix un canvi d'un sol bit en cada pas per reduir els errors.

Hi ha dos tipus d'encoders absoluts, el de volta simple i el de volta múltiple. L'encoder de volta simple són dispositius que especifiquen la posició absoluta d'una revolució però passada aquesta la mesura comença de nou, mentre que l'encoder absolut de volta múltiple et determina la posició de diverses voltes.

Normalment els encoders absoluts s'usen en aplicacions on es necessita conèixer la posició exacte de l'eix. En són un exemple les grues, elevadors, la robòtica ...

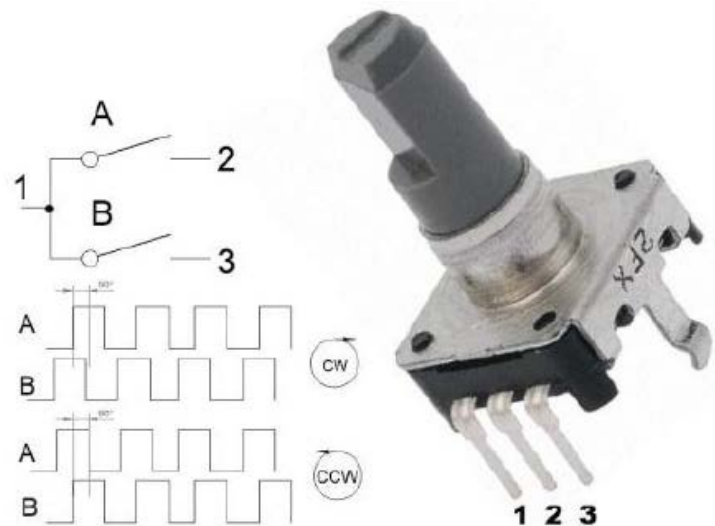
Tot i així hi ha diferents tipus de **tecnologies** per crear un senyal com poden ser: mecànica, magnètic i òptic. L'òptica i magnètica són les més comuns.

- L'**encoder mecànic** és útil per moviments lents. És un comandament que gira sense límits, de fàcil muntatge i baix cost. Les connexions són una seqüència de contactes organitzats en quadratura i entregats en forma de contactes elèctrics. D'altra banda, també se l'anomena "tipus potenciòmetre" per semblança física, tot i que la seva electrònica i comportament són

molt diferents. Normalment s'utilitza per ajustar el volum, sintonia de radio o en un menú d'opcions.

El funcionament del dispositiu és que internament l'encoder està format per dos escombretes que llisquen sobre una pista metàl·lica amb divisions. Al girar l'eix, una petita bola metàl·lica tanca el contacte actuant com a polsador.

Normalment disposen de dos sortides formant un sistema equivalent a dos polsadors (canal A i B), veure *Figura 3*. Aquests polsadors estan desplaçats un respecte l'altre, formant el que es denomina *encoder de quadratura*. En aquest



*Figura 3. Representació del funcionament d'un encoder mecànic. (Font: <http://www.robodosis.net>)*

tipus d'encoder existeix un desfasi entre ambdós sensors de manera que el senyal que produeix està desplaçat  $90^\circ$  elèctrics. L'avantatge dels encoders en quadratura es que, a més a més de detectar la posició i la velocitat, permeten determinar el sentit de gir. Depenent de la connexió dels borns el sentit de gir variarà, és a dir si el senyal del canal A està  $90^\circ$  avançat del canal B anirà en un sentit de gir i, viceversa.

- L'**encoder òptic** és un dispositiu, que per mitjà d'un sensor òptic, controla el moviment de rotació o lineal d'un sistema. Amb altres paraules podem dir, que es tracta d'un transductor que converteix una magnitud d'un mecanisme a una senyal digital. En cas de la rotació, es determina la posició de l'eix mitjançant l'obtenció de la mesura en base a la llum que traspasa una sèrie de discos superposats amb patrons de línies, que codificaran la sortida digital.

La principal tecnologia d'operació d'un encoder òptic es l'anomenada fotoacopladors. Aquests són dos petits xips un compostats d'un díode fotoemissor i l'altre d'un transistor que funciona com a fotoreceptor. Aquest element s'encarrega de detectar la presència i absència de llum a través dels discs concèntrics a l'eix, al qual s'han fabricat amb uns forats que deixen passar la llum en funció d'una codificació particular.

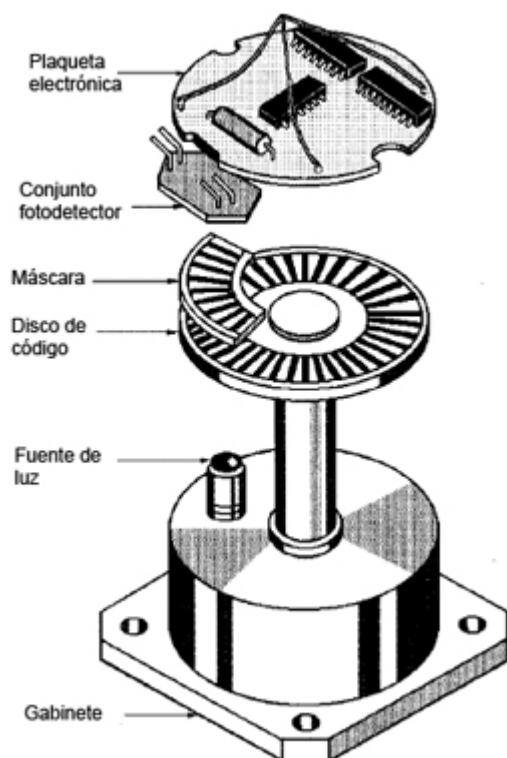


Figura 4. Components d'un encoder òptic. (Font: <http://www.sapiensman.com>)

Tot i això els feixos de llum divergeixen i moltes vegades el codificador òptic no pot identificar amb claredat les zones ombrejades de les il·luminades. Per tal d'aconseguir un senyal clar i precís, s'afegeix una lent sobre el LED per tal que els raigs siguin gairebé paral·lels entre si i no es difumini el senyal. Veure Figura 4.

D'altra banda els discs rotatius de l'encoder són els que contenen els forats que designaran els senyals, i tradicionalment s'ha usat vidre pels discs per la seva precisió. Tot i

això, la durabilitat del vidre no és gaire llarga ja que és un material molt fràgil i en segons quines aplicacions hi ha risc de malmetre-ho. Així doncs actualment podem trobar al mercat discs d'encoders òptics fets de metall, plàstic o fins i tot vidre super-reforçat.

Malauradament aquets materials tenen les seves limitacions. El vidre super-reforçat pot fallar sota cops forts o aplicacions al qual hi hagi vibració. Els encoders fets amb plàstic poden flexionar sota vibracions causant potencials errors de mesura. Els encoders de metall poden flexionar igualment i, les partícules de pols poden interferir si s'introdueixen al forat. Alhora, la humitat i la pols pot interferir en la lectura del senyal.

Si ens fixem en l'altra banda de l'encoder ens trobem amb una màscara abans del fotoreceptor. Aquesta, moltes vegades directament connectada al sensor, amplifica el senyal i la resolució per tal que el codificador òptic rebi un senyal nítid. Com més clara sigui el senyal més podríem dividir en forats el disc augmentant així la resolució de l'encoder i per tant, precisant més la posició d'aquest.

Un cop el senyal arriba al fotoreceptor, es crea un codi binari d'on/off. Aquest senyal de sortida es digitalitzarà per poder recollir les dades de posició i velocitat en forma de polsos. Segons el disc introduït podem aconseguir codificacions molt variades (binaris, decimal, polsats ...).

L'encoder òptic té grans avantatges, té una alta resolució i precisió amb velocitats altes, no necessiten bateries i es poden usar en àrees de d'alts camps magnètics.

- L'**encoder magnètic** està format per un sensor, un circuit condicionat i un disc rotor o una escala lineal, depenent si és un dispositiu rotatori o lineal. En cas de l'encoder rotatori, el disc està imantat amb un nombre determinat de pols al voltant de la circumferència. Els sensors detecten el canvi del camp magnètic mentre els discs estan rotant i converteix aquesta informació en una ona sinusoidal o polsos elèctrics. Els imants solen estar fets de ferrita injectada per motlle i, els encoder magnètics són petits, barats i normalment s'usen en ambients de treball mecànic.

La configuració més simple seria la d'un imant amb els pols oposats a les vores de l'eix, amb un sol sensor. Aquest aparell produiria una senyal sinusoidal amb una freqüència igual a la

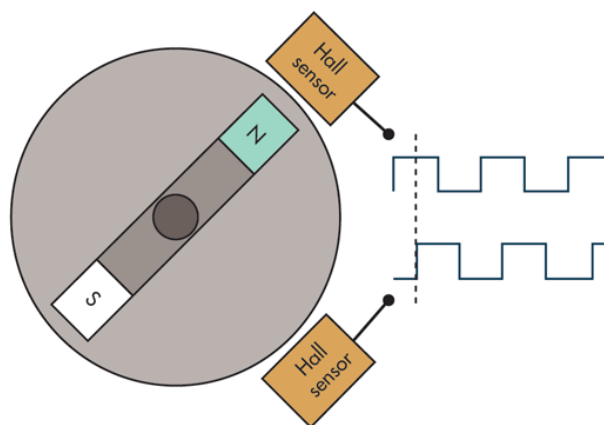


Figura 5. Representació esquematitzada d'un encoder magnètic i els seu senyal amb ones quadrades. (Font: <http://www.electronicdesign.com>)

velocitat de rotació de l'eix. Si afegim un altre sensor a  $90^\circ$  obtenim un altre senyal en forma de cosinus, una senyal desfasada  $90^\circ$ , fent possible detectar la direcció de rotació però alhora conèixer la posició absoluta de l'eix interpolant entre el senyal de

sinus i cosinus. El senyal serà sinusoïdal o polsos quadrats segons la codificació de l'encoder, veure la *Figura 5*. Per assolir una major precisió de l'encoder s'hauria d'augmentar el nombre de pols del rotor i de sensors.

Hi ha diferents mètodes de detecció dels canvis del camp magnètic, però els dos principals són l'efecte Hall i el magneto resistiu. L'efecte Hall els sensors detecten la variació de voltatge degut a la desviació magnètica dels electrons. Els sensors magneto resistius detecten la resistència deguda al camp magnètic.

A diferència dels encoders òptics, l'avantatge principal dels encoders magnètics és que són robustos. Aquests dispositius són totalment insensibles als contaminants com pot ser la pols, els líquids o el greix mecànic, però a la vegada també ho són de les vibracions i xocs. Semblant als encoders òptics, els magnètics també requereix un espai entre el disc magnètic i el sensor, tot i que el forat no cal que estigui net d'impureses o que sigui transparent, tal a diferència el que necessita l'encoder òptic. Tan sols evitant la presència de materials ferromagnètics al voltant del disc i del sensor, els polsos seran detectats. Dues especificacions importants pel funcionament dels encoders magnètics són tenir en compte el forat entre sensor i disc rotor i la posició radial del sensor respecte el disc.

Com ja s'ha comentat, els encoders poden utilitzar tant tecnologia òptica com magnètica. El sensor òptic dona altes resolucions, velocitats d'operacions altes, amb seguretat i operacions de llarga vida en la majoria dels ambients industrials. Els sensors magnètics, s'utilitzen habitualment en aplicacions de treball pesat com laminadores de paper i acer, donen bona resolució, altes velocitats d'operació, màxima resistència a la pols, humitat i xoc tèrmic i mecànic.

### **2.1.3. Resolució i precisió d'un encoder**

La resolució d'un encoder és el número de segments de mesura o unitats en una revolució de l'eix. La precisió és la fiabilitat d'aquests segments per tal de determinar una posició amb exactitud.

Actualment hi ha una gran diversitat d'encoders i es pot trobar encoders amb una gran resolució, fins a 40.000 PPR, en el cas d'encoders lineals són capaços de llegir mesures fins al micròmetre. En qualsevol cas, l'encoder escollit ha de tenir una resolució igual o millor que l'aplicació requerida

La precisió i la resolució són diferents, i es possible tenir-ne una sense necessitat de l'altra. En la *Figura 6* es pot veure dues distàncies  $X$  dividides en 24 segments o unitats d'informació. Si  $X$  representa  $360^\circ$  de l'eix de rotació, llavors una revolució ha estat resolta 24 parts.

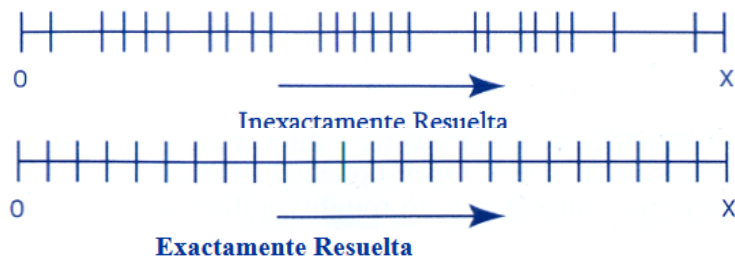


Figura 6. Distància  $X$  dividida en 24 segments, resolució i precisió d'un encoder.  
(Font: <https://www.acomee.com.mx/ENCODERS.pdf>)

Si s'analitza la *Figura 6* es pot veure-hi ha 24 segments de resolució però que en la divisió lineal de dalt les parts no són uniformes mentre que en l'inferior si ho són. En el cas superior, aquesta segmentació pot no ser usada per mesurar la posició, velocitat o acceleració amb més precisió. Per altre banda, en la divisió inferior cada increment representa exactament  $1/24$  d'una revolució. Aquesta darrera segmentació opera amb exactitud així com la resolució. Així doncs, la precisió pot ser independent de la resolució.

Sempre que la divisió de les unitats d'informació d'un encoder siguin iguals, tindrem més precisió en la lectura si els segments són més petits i per tant n'hi ha més.

#### 2.1.4. Encoders utilitzats al treball

Tot i l'enorme possibilitat d'encoders amb diferents prestacions i diferents necessitats que actualment hi ha al mercat, s'ha optat per realitzar aquest treball amb dos encoders diferents. Un d'aquests dos s'utilitzarà per fer l'estudi del funcionament d'un encoder i l'altre pel control i rebuda d'informació d'un motor de corrent continua.

El primer encoder, el podem anomenar encoder 1, és un encoder rotatiu, incremental i mecànic. És a dir, és un encoder de rotació manual en el qual hi surten tres sortides que emeten la informació en quadratura (Canal A, Canal B i índex) i en el qual la seva tecnologia és incremental.

L'encoder 1 s'utilitzarà per estudiar el senyal de quadratura, veure que la informació varia si es modifica la velocitat de gir o el sentit de gir. A la vegada la informació provinent dels contactes de l'encoder, s'emeten per les tres sortides cap a una interfície connectada a l'ordinador. L'objectiu és graficar el comportament de cada sortida de l'encoder 1.

El segon encoder, l'anomenarem encoder 2, és un encoder rotatiu, incremental i magnètic, però no és manual ja que és solidari amb l'eix i per tant, la rotació depèn d'aquest. L'encoder 2 és magnètic i

té la capacitat de rebre informació gràcies als sensors d'efecte hall. La precisió de detecció de posició i velocitat de l'encoder 2 és major al de l'encoder 1, gràcies a la seva tecnologia magnètica.

S'ha escollit un encoder magnètic com a segon encoder perquè és un dels objectius principals del treball. D'altra banda, l'encoder 2 ens permetrà recollir molta informació del motor que posteriorment s'utilitzarà per controlar el motor amb l'ajuda d'un programa electrònic i una interfície.

### 2.1.5. Fenòmens magnètics: Efecte Hall

En aquest treball s'utilitzarà i s'estudiarà un encoder magnètic el qual els seus sensors funcionen gràcies al fenomen de l'efecte Hall. El sensor d'efecte Hall (denominat segons el seu descobridor, Edwin Herbert Hall) mesura els camps magnètics o corrents per determinar la posició a la que està.

L'efecte Hall és el fenomen físic de l'aparició d'un camp elèctric per la separació de les càrregues, en l'interior d'un conductor pel que circula una corrent en presència d'un camp magnètic amb component perpendicular al moviment de les càrregues. Aquest camp elèctric, camp Hall, genera al conductor voltatge i a la vegada aquest camp elèctric és perpendicular al moviment de les càrregues i a la component perpendicular del camp magnètic aplicat.

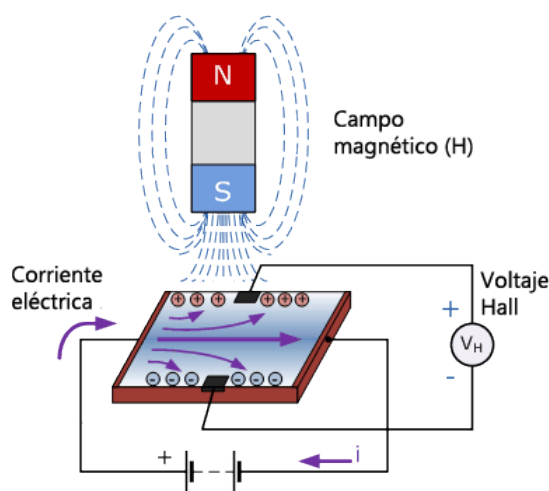


Figura 7. Esquema de l'experiment de l'efecte Hall.  
(Font: <https://www.luisllamas.es/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/>)

Si es mira la *Figura 7* es pot veure l'experiment que explica l'efecte Hall. Al aplicar una corrent elèctric a través del plat conductor els electrons passen a través seu, però si s'introdueix un camp magnètic prop del plat conductor es pot veure que les càrregues es seguiran movent però en costats oposats del plat. Aquesta acumulació d'electrons i protons a cada banda del plat conductor és el camp elèctric creat degut al camp magnètic introduït i és degut a una força anomenada força de Lorentz. A la vegada si s'afegeix un voltímetre entre aquests dos costats del plat, es podrà mesurar una diferència de voltatge, el voltatge Hall. D'aquesta manera es pot identificar si un pol magnètic és positiu o negatiu i

fins i tot la intensitat del camp, gràcies a la informació que ens dona el voltatge Hall.

Per tant, si flueix corrent per un sensor Hall i s'aproxima a un camp magnètic es crearà un nou camp elèctric que generarà un voltatge elèctric. Si se sap el voltatge se'n pot saber quin pol magnètic és i fins i tot el flux magnètic de l'imant.



### 2.1.1. Control d'un encoder

El control d'un encoder necessita un sistema programat per comandar les funcions i unes determinades connexions per comunicar la informació. Habitualment s'usa un ordinador amb algun programa per tal de controlar les accions i, es connecta mitjançant una interfície o microprocessador, aparell que transmet la informació de l'encoder a l'ordinador. En el cas d'aquest treball així es farà, i s'usarà aquest encoder, l'encoder 2 anteriorment explicat, per controlar el moviment d'un motor.

Així doncs l'encoder juntament amb l'ordinador i la interfície formaran part del sistema de control, on aquest és el conjunt de dispositius encarregats de regular el comportament del sistema i evitar-ne errors. Hi ha dos sistemes de control, el de llaç obert i el de llaç tancat.

- El **sistema de llaç obert** és el procés en el qual el senyal es transmet des del control fins el motor. És a dir, el control no sap si l'acció final emesa pel senyal és correcte o no.
- En el **sistema de llaç tancat** el senyal viatja des del control fins el motor, però hi ha una retroalimentació que retorna al control informant si l'operació ha sigut satisfactòria. Si la retroalimentació informe al control que l'acció no és correcte, el control torna enviar un altre senyal corregint l'error. El procés es repeteix fins a obtenir una informació d'èxit en la retroalimentació.

En el cas d'aquest treball s'ha optat per un sistema de llaç tancat per tal d'utilitzar la retroalimentació per ajustar una posició o velocitat determinades. Hi ha diversos dispositius disponibles al mercat al qual poden ser útils per controlar la velocitat i posició, l'escollit és un encoder amb sensors d'efecte Hall.

Els sensors d'efecte Hall són dispositius robustos utilitzats per detectar caps magnètics. Quan l'ímant passa a prop del sensor, aquest envia una senyal de sortida de "ON" o "OFF", que al transformar-ho en una senyal digital esdevé una sortida "high" o "low".

Tal com s'explica a l'apartat 2.1.2 *Funcionament d'un encoder*, aquest encoder està format per sensors Hall disposats a tants graus entre ells (en aquest cas dos sensors a 90°) i una roda magnètica giratòria. Així doncs si la roda magnètica gira i si se sap la distància angular entre els sensors, s'obté un seguit de senyals pulsatius desfasats de sortida que ens informen sobre la posició de gir i velocitat.

D'altra banda es pot dir que s'ha escollit l'encoder 2 perquè ens informa de la posició relativa, es pot regular la velocitat, les senyals de sortida són digitals, funciona bé amb l'electrònica i té baix cost. Tot i això al tenir tan sols dos sensors Hall, la regulació acurada de la velocitat és més difícil a velocitats baixes que a més altes.

### 2.1.2. Estudi gràfic del comportament d'un encoder mecànic

Per tal de mostrar el funcionament d'un encoder, s'ha creat un petit programa electrònic virtual que mostra el comportament gràfic real d'un encoder incremental mecànic (encoder 1), connectat a l'ordinador mitjançant una interfície Arduino. La placa Arduino Uno, usada com a interfície connectora entre l'encoder i l'ordinador, és una placa de circuit imprès simple basada en el microcontrolador de codi obert, provinent de la plataforma de codi obert Wiring, amb l'objectiu de fer més simple i accessible el disseny de circuits electrònics amb microcontroladors. Arduino es pot utilitzar per desenvolupar objectes interactius autònoms o pot ser connectada a programari de l'ordinador, usa el llenguatge C.

El programa electrònic utilitzat per reproduir el senyal de l'encoder és el Labview, és una plataforma de programari, una eina gràfica de test, control i disseny mitjançant programació de molt alt nivell. És un revolucionari sistema de programació gràfica per aplicacions que demanen un gran control, anàlisi i presentació de les dades. Amb Labview es redueix el desenvolupament de les aplicacions i és molt intuïtiu i fàcil de fer servir i aprendre.

S'ha utilitzat un encoder incremental rotatori (encoder KY-040) per poder veure el senyal de quadratura que capta l'encoder. L'encoder és mecànic amb 20 cicles per revolució (CPR) i infinit, es a dir, que pot donar voltes cap als dos sentits sense límits. Al girar per cada pas es pot notar un petit ressalt que indica que s'ha arribat a la nova posició.

Aquest mòdul té 5 pins de sortida, tal com es veu en la *Figura 8*. De baix a dalt, identifiquem la sortida "GND"(Ground, en anglès), que connectarem al terra; la sortida "+", la tensió elèctrica aplicada al dispositiu, en aquest cas de 0-5V segons especificacions del fabricant; i seguidament els pins o sortides "SW", "DT" i "CLK".

Els pins "CLK" i "DT" representen el senyal d'un sensor cadascun, canal A i B respectivament, i els senyals estan desfasats 90° elèctrics entre ells. Aquestes dues sortides anteriors, "CLK" i "DT", formen un senyal d'ones quadrades amb amplitud binària, 0 o 1. Per aconseguir-ho hi ha uns interruptors o escombretes internes en que tanquen o obren el circuit mentre l'eix gira. Si la connexió d'aquests

pins és amb l'alimentació de 5V, el senyal serà 1, i si és amb el terra, el senyal serà 0. Aquestes dues senyals que surten de l'encoder ens dona un total de 4 combinacions (00, 01, 10, 11) que segons el gir de l'encoder serà

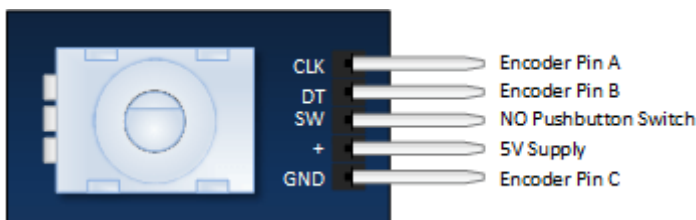
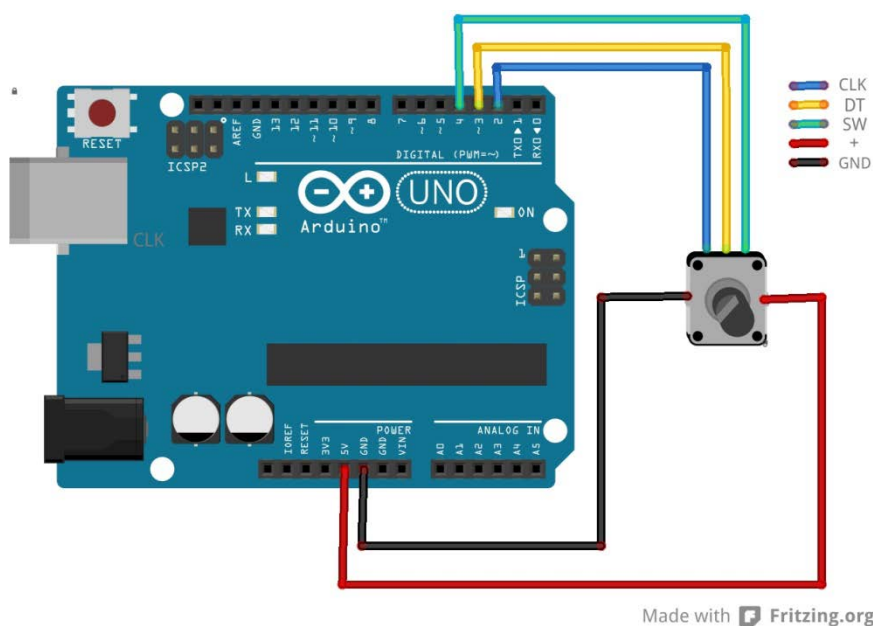


Figura 8. Esquematització de les sortides de l'encoder mecànic incremental. (Font: [www.mactronica.com](http://www.mactronica.com))

Finalment tenim la sortida “SW”, aquest és un interruptor normalment obert (NO) que si es pressiona sobre l'eix de l'encoder es tancarà, útil per si es vol canviar la funció de l'interruptor.

La connexió de l'encoder amb la placa Arduino és la mostrada a la *Figura 9*. On la sortida “GND” anirà a la seva anàloga a la placa Arduino, la sortida “+” a la tensió de 5V, i les sortides restants, “CLK”, “DT” i “SW”, als pins digitals de la placa 2, 3 i 4, respectivament.



**Figura 9.** Connexió encoder rotatori amb la placa Arduino. (Font: Pròpia fet amb el programa Fritzing)

Per tal d'executar el programa de Labview, s'ha de compilar un codi al programari Arduino, i així s'aconsegueix que la placa dugui a terme la funció d'interfície, veure codi a l'Annex A1. Un cop compilat el codi, el Labview està llest per funcionar.

El Labview està compost per dos panells, el de diagrama de blocs i el panell frontal o de comandament. Al panell de diagrama de blocs seria el panell executiu, és on hi ha tots els blocs i les interrelacions del circuit per tal de que el programa dugui a terme el resultat desitjat. Per contrari, el panell frontal serien els comandaments necessaris per variar els paràmetres del programa i obtenir així un resultat o senyal; resultats també presents a aquesta finestra.

S'ha creat un petit programa electrònic en que primerament reconeix que les dades provenen de la placa Arduino, i que dins d'un procés continu, uns pins d'entrada determinats llegiran cadascun un senyal. El senyal de tots els pins de l'encoder es mostrarà en una gràfica d'ones quadrades per poder veure'n el fenomen de quadratura en un encoder incremental. A la vegada també hi ha un botó de control que atura tot el programa en cas de que es vulgui. Veure *Figura 10*.

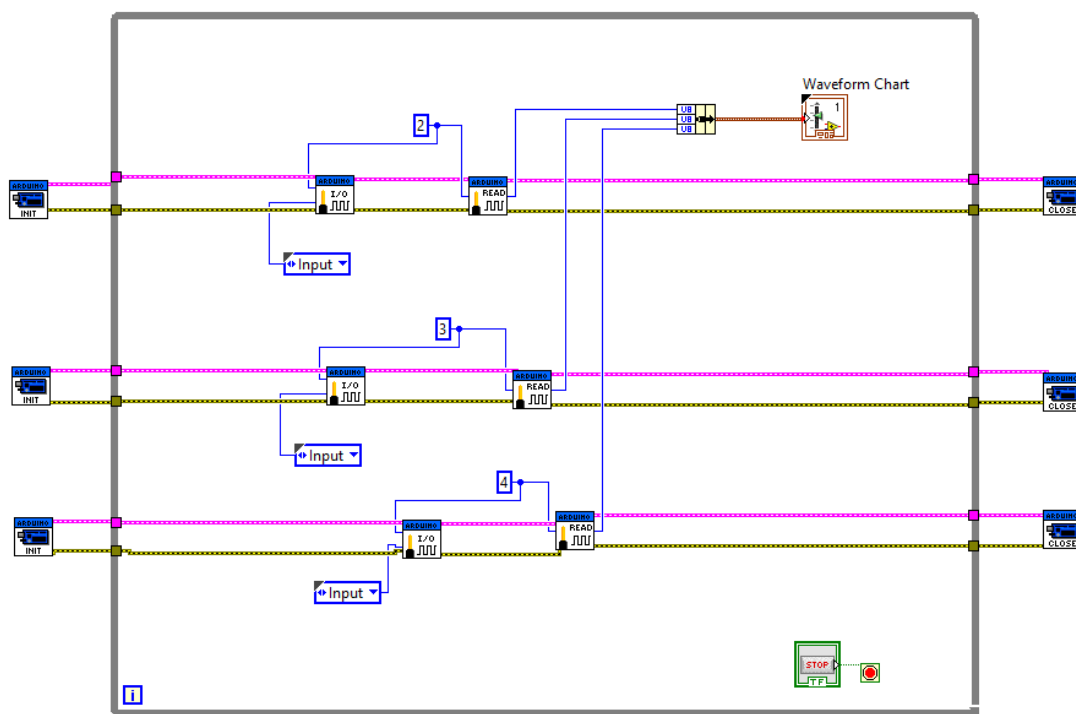


Figura 10. Esquema electrònic de lectura i dels senyals d'un encoder rotatori incremental. (Font: Pròpia fet amb Labview.)

Si s'executa el programa i després d'esperar uns segons d'arrencada, els senyals comencen a mostrar-se a la pantalla en forma de 3 gràfics separats, un per cada sortida digital de la placa Arduino. A la *Figura 11*, podem veure que el primer senyal, seria el canal A (sortida "CLK" de l'encoder connectat a la sortida digital "2" de la placa); el segon seria el canal B, (sortida "DT" de l'encoder connectat a la sortida digital "3" de la placa); i finalment el tercer, s'anomenarà canal C, que seria el pulsador NO (sortida "SW" de l'encoder connectat a la sortida digital "4" de la placa).

En la mateixa figura es pot veure, els senyals dels dos sentits de gir i el pulsador NO. En els cercles de la *Figura 11* i recordant el funcionament d'un encoder incremental, apartat 2.1.2, podem identificar els dos sentits de gir de l'encoder, en el cercle taronja és gir antihorari i en el groc és horari. Recordant l'explicació de l'apartat citat es pot definir que si el senyal del Canal A està avançat del Canal B, el sentit és horari, i que si el senyal rebut del Canal B està avançat del Canal A, el sentit de gir és antihorari. Per tant, s'identifica que els senyals del cercle taronja han sigut reproduïts girant en sentit antihorari i que els senyals mostrats al cercle groc són deguts a un gir en sentit horari de l'encoder.

En la mateixa figura es pot veure que els polsos dels senyals no són exacte entre si, això és degut que la rotació ha sigut manual i per tant, la velocitat angular no ha pogut ser perfectament constant. Per

altra banda al Canal C es pot apreciar que, si es prem el pulsador de l'encoder, s'emet un senyal en forma de pols.

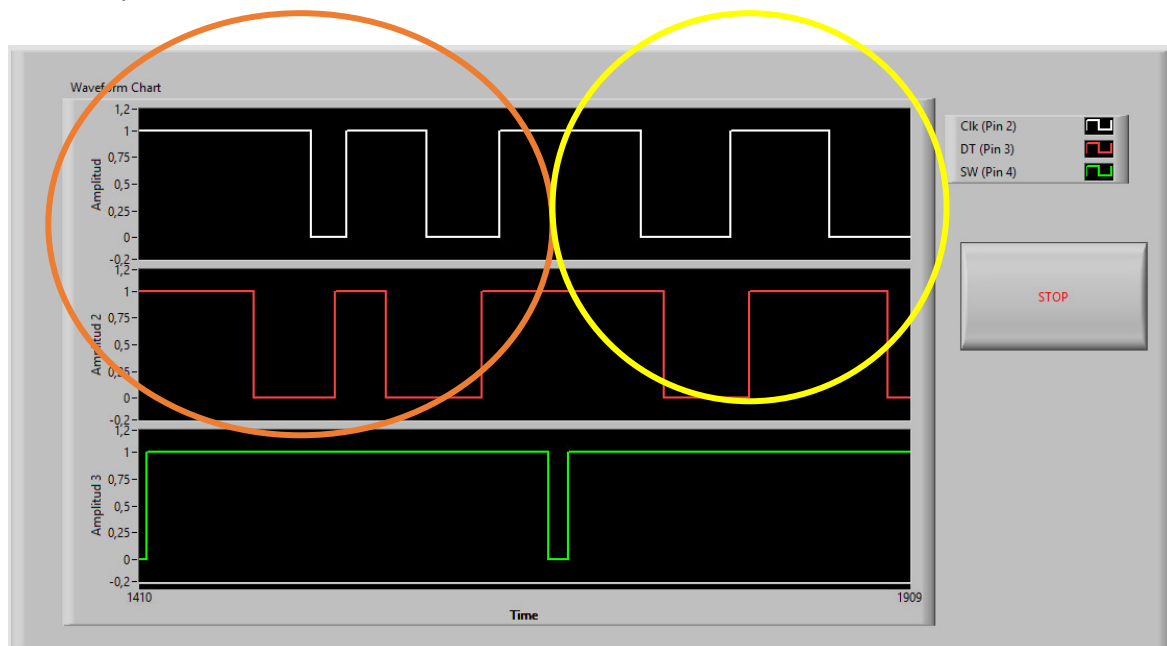


Figura 11. Senyals digitals en forma d'ona quadrada de l'encoder rotatori incremental. (Font: pròpia fet amb Labview.)

Si se'n vol veure el funcionament continu de l'encoder mecànic, se n'ha realitzat un vídeo on es veuen les gràfiques pertanyents a diferents sentits de gir de l'encoder. L'enllaç és el següent: <https://youtu.be/ESVu7gf0Vy0>.

## 2.2. Motors

Els motors són mecanismes que transformen l'energia elèctrica, química, energia potencial, etc. en energia mecànica visible a través d'un eix de sortida giratori. El diccionari ho descriu com a "màquina destinada a produir moviment per mitjà de l'ús d'una font d'energia".

Els diversos tipus de motors usats a la maquinària estan enfocats a diferents usos. Aquests poden tenir mides molt diverses de de per exemple un motor d'un rellotge al d'un vaixell.

Així doncs es podria classificar els tipus de motors segons molts paràmetres com podrien ser la mida, els aparells que en formen part però usualment es divideixen segons la font d'energia que els fa funcionar, aquests són:

- **Motors de combustió externa** és una màquina que realitza una conversió d'energia calorífica en energia mecànica mitjançant un procés de combustió que es realitza fora de la màquina, generalment per escalfar aigua, en forma de vapor, serà la que realitzi treball. L'exemple més comú és la dels antics trens amb motors de vapor al cremar carbó.
- **Motors de combustió interna** és un tipus de màquina que obté l'energia mecànica directament de l'energia química produïda per un combustible que crema dins d'una càmera de combustió, la part principal d'aquests motors. Hi ha diversos tipus com poden ser els motors d'explosió, els motors dièsel o els motors a reacció.
- **Els motors elèctrics** són dispositius que transformen energia elèctrica en energia mecànica, gràcies a l'acció dels camps magnètics que es creen en les bobines que els componen. L'energia elèctrica fa que els camps magnètics desplacin forces que donen com a resultat el desplaçament del rotor, que concèntric a l'estator, es desplaça en un moviment giratori. Seguidament s'explicarà amb detall el seu funcionament i tipus ja que serà aquest tipus de motor el que s'utilitzarà en el treball.
- **Els motors hidràulics** són usats com actuadors mecànics, aquets converteixen l'energia hidràulica en energia mecànica de gir. S'utilitza sobretot per lliurar un parell motor molt gran a velocitats de gir petites, en comparació amb un motor elèctric.

### 2.2.1. Motor utilitzat al treball

Per tal de realitzar el moviment d'aquest treball, s'ha escollit un motor elèctric de corrent continu amb un encoder integrat i alhora té una caixa reductora acoblada. L'encoder integrat, correspon a l'encoder 2, al qual ja s'ha comentat en els apartats anteriors.

Per contrari, seguidament es descriurà el funcionament, parts i fenòmens físics d'un motor elèctric i les peculiaritats que aquest sigui de corrent continu envers de corrent altern. Un altre punt important

és el de la caixa reductora acoblada, ja que és indispensable per l'aplicació que està enfocat aquest treball, el prototip d'un ascensor.

Amb l'ajut d'aquestes explicacions s'ha d'entendre el funcionament i importància d'aquests components que després seran estudiats amb detall i precisió en aquesta aplicació concreta.

### 2.2.2. Motor elèctric

Com ja s'ha dit un motor elèctric és un artefacte que transforma l'energia elèctrica en energia mecànica de rotació i permet impulsar el funcionament. Això és degut a l'acció dels camps magnètics generats per les bobines.

Els motors elèctrics són molt usats actualment, se'n poden trobar en trens, màquines industrials, rellotges..., i la seva mida varia molt segons l'ús i la potència necessària a aplicar. Els motors elèctrics doncs, estan molt presents a la vida quotidiana, en aparells que desenvolupen un moviment mecànic i que reben l'energia d'una corrent alterna (AC) o corrent continua (CC). Segons la corrent elèctrica subministrada al motor i la composició del funcionament del motor, podem dividir els tipus de motors elèctrics de corrent continu, corrent altern i universals.

- **Corrent continu** : Són aquells motors que reben l'energia d'una alimentació de manera constant.
- **Corrent altern** : Motor que es caracteritza per canviar l'alimentació d'electricitat al llarg del temps, ja sigui en intensitat o en sentit, a intervals regulars.
- **Universal** : Aquest tipus de motor és l'únic motor que pot ser connectat tant a corrent altern com corrent continu.

D'altra banda un motor simple de corrent continu conté cinc parts principals:

- L'**estator** és la part que opera com a base o carcassa, normalment feta d'acer laminat, i on conté en el seu interior, els imants permanents o electroimants permanents. Els imants que el conformen són els encarregats de produir el camp magnètic d'excitació del motor. Les formes poden ser molt variades, però normalment són semicercles amb el seu corresponent pol nord i sud.
- El **rotor** és la part giratòria del motor. Es compon d'una estructura metàl·lica formada per un conjunt de làmines d'acer de silici, conformades de forma circular i muntades sobre un mateix eix amb les seves corresponents bobines de filferro de coure, que el converteix en un electroimant giratori. Per norma general els motors elèctrics petits es componen de tres bobines que creen tres pols magnètics. Als extrems de cada una d'aquestes bobines es troben connectats a diferents segments del col·lector de galgues.

- L'**eix** és l'encarregat de guiar el moviment de rotació d'una peça o un conjunt d'elles. És solidari amb el rotor i sol girar sobre uns rodaments situats a la carcassa del motor
- Les **escombretes** representen dos contactes elèctrics que poden ser metàl·lics o composts de carbó, al qual llisquen sobre les galgues del col·lector mentre aquestes giren. La seva funció és subministrar a les bobines del rotor a través del col·lector, la corrent elèctrica suficient per energitzar l'electroimant. Les escombretes no solen ser presents en motors de corrent altern.
- El **col·lector de galgues** és un component situat en un extrem de l'eix del rotor i es compon d'un anell lliscant seccionat en dos o tres segments. Aquest està en contacte amb les escombretes i proporciona energia elèctrica a les bobines, per mitjà del filferro de coure, per tal de electromagnetitzar-les, quan les escombretes subministren electricitat a diferents segments de les galgues. Poques vegades el col·lector forma part dels elements en un motor de corrent altern.

En la *Figura 12*, es pot veure les parts principals del motor. Tot i això, els motors poden estar compostos de més elements com un ventilador, caixa de borns, anelles, suports o carcasses de protecció internes; segons la complexitat, rendiment i ús d'aquests.

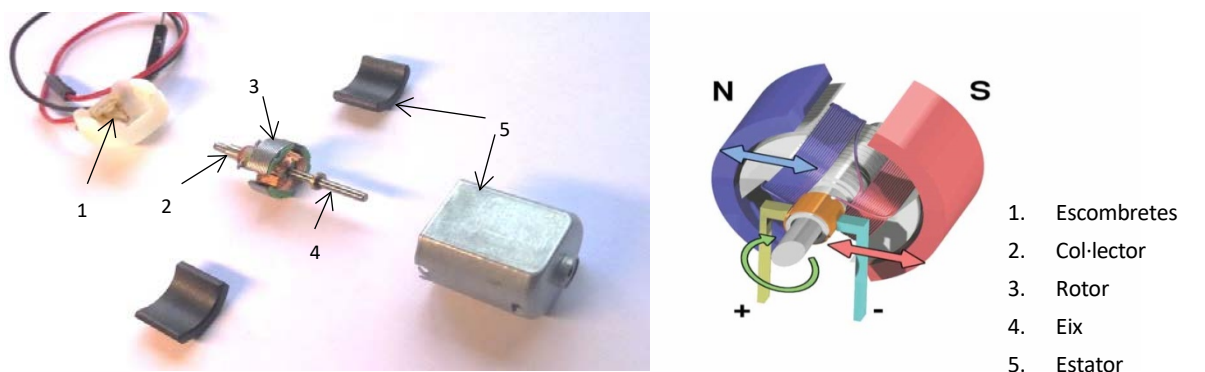


Figura 12. Parts que formen un motor elèctric [Esquerra] i la seva disposició natural [Dreta]. (Font: pròpia [esquerra] i <https://goo.gl/mgcm1v> [dreta])

### 2.2.3. Funcionament dels motors elèctrics i fonaments físics

El funcionament dels motors elèctrics es basa en l'atracció o repulsió magnètica del rotor i estator mitjançant imants permanents o electroimants, i degut això s'aconsegueix el gir de l'eix. D'acord amb això, tot motor ha d'estar format amb pols alternats entre estator i rotor, ja que pols iguals es rapelen i pols magnètics diferents s'atrauen, produint així el moviment de rotació.

La força magnètica està definida per la llei de Coulomb, on aquesta diu que l'atracció o repulsió de dues càrregues puntuals i en repòs es proporcional al producte de les mateixes i inversament proporcional al quadrat de la distància que les separa i actua en la direcció de la recta que les uneix.

Així doncs, es pot representar aquesta força com a:



$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

on, les unitats segons el sistema internacional (SI) són en newtons (N) per la força, en Coulombs (C) per les càrregues, en metres (m) per la distància i on la constant universal, K, depèn del medi en que es troba.

El camp magnètic és la regió on s'experimenta aquesta força magnètica. El flux magnètic és l'entitat que mesura el camp magnètic quan aquesta atracció va del pol nord magnètic al pol sud magnètic. Així doncs el flux del camp magnètic a través d'una superfície es defineix com:

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (\text{Eq. 2})$$

on,  $ds$  és un vector perpendicular a la superfície en cada punt. Com que les línies de camp magnètic són tancades, el flux a través de qualsevol superfície tancada serà nul·la.

Un cop descrits els principals paràmetres magnètics, es pot descriure el funcionament d'un motor dient que l'estator conté dos pols magnètics permanents en els dos extrems, que poden ser imants permanents o electroimants. Quan l'electricitat és conduïda a través de la bobina del rotor, es genera un camp magnètic que s'oposa a la part estàtica del motor, estator. Cada vegada que l'electricitat recorre el cable, els costats del rotor aconseguixen una polaritat diferent. L'acció repel·lent dels pols oposats es tradueix en que el rotor comenci a girar dins l'estator. Perquè el motor no s'aturi (el que passaria si els pols s'alineessin), s'inverteix la polaritat de l'electroimant (la part negativa passa a positiva i viceversa, perquè el mecanisme torni a girar). Segons com es realitzi aquest procés, és un o altre tipus de motor elèctric.

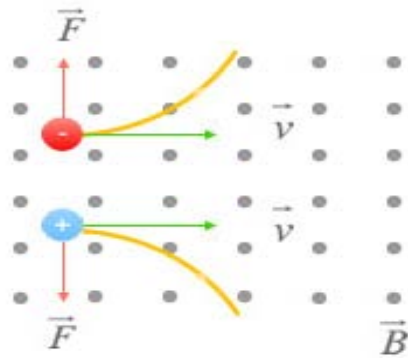
Un motor elèctric opera primordialment en base a dos principis electromagnètics, la llei de força de Lorentz i la llei d'Ampère. A la vegada s'explicarà quin fenomen físic pateix una espira o bobina per crear un camp magnètic.

La llei de la força de Lorentz, descobert per Hendrik Antoon Lorentz, postula que quan una partícula carregada elèctricament es mou dins d'un camp magnètic, experimenta una força perpendicular a la direcció d'aquest moviment i alhora perpendicular a la direcció del flux del camp magnètic. L'expressió matemàtica és la següent,

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (\text{Eq. 3})$$

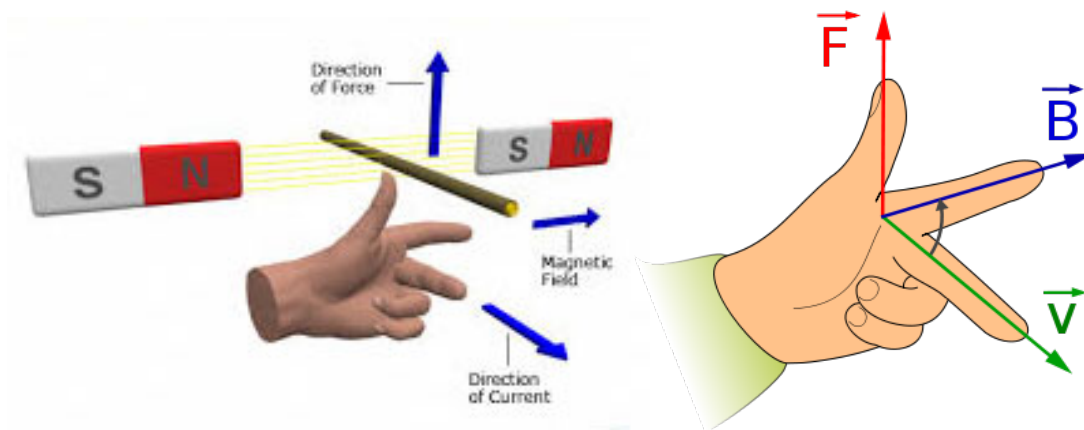
on la força es representa amb newtons (N), la càrrega elèctrica amb coulombs (C), la velocitat amb metres partit segon (m/s) i el camp magnètic amb Tesles (T).

Es pot aplicar l'exemple teòric d'una partícula carregada amb velocitat perpendicular a un camp magnètic uniforme, ja que dins d'un camp magnètic uniforme, creat per l'estator, el corrent elèctric circularà perpendicular a aquest camp. Això comportarà que la força sigui en un o altre sentit, per tant atracció o repulsió entre estator i rotor, segons la direcció del corrent, ja que el moviment d'electrons, càrrega negativa, serà en un o altre sentit. Veure la *Figura 13*.



*Figura 13.* Partícules carregades dins d'un camp magnètic uniforme. (Font: <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz#contenidos>)

Amb la llei de força de Lorentz és possible determinar d'una manera gràfica la direcció i sentit de la força aplicant la regla de la mà esquerra. Aquest és una norma mnemotècnica utilitzada en l'electromagnetisme que determina la força exercida per un conductor que condueix la corrent en un sentit dins d'un camp magnètic. Per obtenir el sentit de la força, s'agafa el dit índex de la mà esquerra apuntant a la direcció del camp magnètic que interactua amb el conductor y el dit cor s'apunta en direcció a la corrent que circula el conductor, formant un angle de  $90^\circ$ . D'aquesta manera, el dit polze determina el sentit de la força que experimentarà aquest conductor. Veure *Figura 14*.



*Figura 14.* Representació gràfica de la regla de la mà esquerra. (Font: <https://www.infootec.net/motores-electricos-de-induccion/>)

El principi de André Ampère, establert el 1831, que a partir de les corrents elèctriques podem calcular camps magnètics. Es pot descriure com:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I_T \quad (\text{Eq. 4})$$

La integral del primer membre és la circulació o integral de la línia del camp magnètic al llarg d'una trajectòria tancada, i :

- $\mu_0$  és la permeabilitat del buit.
- $dl$  és un vector tangent a la trajectòria escollida en cada punt.
- $I_T$  és la corrent neta que travessa la superfície delimitada per la trajectòria, i serà positiva o negativa segons el sentit amb el que travessi la superfície.

Per determinar el sentit de les línies de camp magnètic s'usa la regla mnemotècnica de la mà dreta,

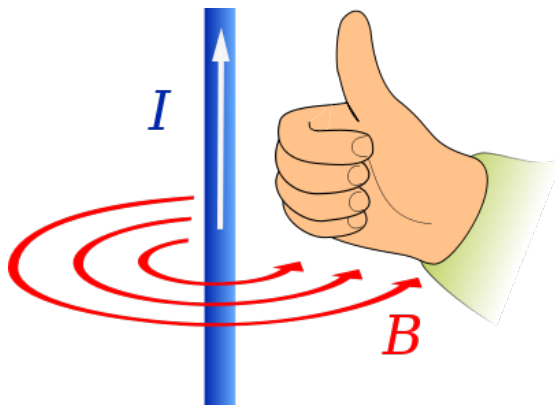


Figura 15. Representació de la regla de la mà dreta.  
(Font: [https://es.wikipedia.org/wiki/Regla\\_de\\_la\\_mano\\_derecha](https://es.wikipedia.org/wiki/Regla_de_la_mano_derecha))

on s'aplicarà per l'expressió general del camp creat per una corrent, on les seves línies de camp seran circumferències centrades al fil. La regla de la mà dreta és un mètode per determinar sentits vectorials. Per determinar el sentit moviment de rotació del camp el polze ha d'apuntar cap a la direcció del vector on circula la corrent pel fil, mentre que la resta de dits es van tancant al voltant de la palma de la mà, el qual descriuria la direcció de rotació, tal com es pot observar en la Figura 15.

Aquests són les lleis i postulats bàsics per entendre el magnetisme i electromagnetisme dins del motor, però un cas més concret és la creació d'un camp magnètic degut a una bobina o solenoide. Una bobina és un fil conductor enrotllat sobre una figura formant un bucle constituït per un nombre determinat d'espores molt pròximes entre si. Aquest camp magnètic resultant és la suma de tots els camps magnètics generats per cada espira, on en l'interior del bobinat serà molt intens i constant en mòdul i en l'exterior les línies de camp seran similars al d'un imant recte.

Així doncs, el valor del camp magnètic creat a l'interior d'un solenoide circular on hi recorre una corrent elèctrica sobte segons la següent expressió:

$$B = \frac{\mu \cdot I \cdot N}{L} \quad (\text{Eq. 5})$$

on:

- $\mu$  és la permeabilitat magnètica del material que es troba a l'interior del solenoide.
- $I$  és la intensitat de corrent elèctrica que circula per la bobina. En SI Amperes (A).
- $N$  és el nombre d'espores que constitueixen la bobina.

- L és la longitud total de la bobina. Les seves unitats en SI són els metres (m).

#### 2.2.4. Motor de corrent continu

Els motors de corrent continu o de corrent directa, es distingeixen bàsicament amb la resta de motors elèctrics perquè obtenen l'electricitat d'una bateria.

Quan s'introdueix una espira de fil de coure en un camp magnètic i es connecta a una bateria, el corrent passa en un sentit per un dels seus costats i en sentit contrari per la banda oposada. Així, sobre els dos costats de l'espira s'exerceix una força, en un d'ells cap amunt i en l'altre cap avall. Si l'espira de fil va muntada sobre l'eix metàl·lic, comença a donar voltes fins a aconseguir la posició vertical. Llavors, en aquesta posició, cadascun dels fils es troba situat al mig entre els dos pols, i l'espira queda retinguda. Aquest fenomen es degut a la força de Lorentz, explicada en l'apartat anterior, i que si es trasllada d'una espira a una bobina, que és un seguit d'espires, sota el camp magnètic d'un imant permanent, farà que les bobines situades al rotor girin.

Perquè la bobina segueixi girant després d'assolir la posició vertical, és necessari invertir el sentit de circulació del corrent. Per aconseguir-ho, s'empren un col·lector, que en el motor elèctric més simple, el motor de corrent continu, està format per dues o vegades tres xapes de metall amb forma de mitja lluna, que es situen sense tocar-se, com les dues meitats d'un anell, i que es denominen galgues o lamel·les. Els dos extrems de l'espira es connecten a les dues mitges llunes. Dues connexions fixes, unides al bastidor del motor i a les escombretes, fan contacte amb cadascuna de les galgues del col·lector, de manera que, en girar l'armadura, les escombretes contacten primer amb una galga i després amb l'altra.

Quan el corrent elèctric passa pel circuit, el rotor comença a girar i la rotació dura fins que la bobina arriba a la posició vertical. En girar les galgues del col·lector amb la bobina del rotor, cada mitja volta s'inverteix el sentit de circulació del corrent elèctric. Això vol dir que la part de la bobina que fins a aquest moment rebia la força cap amunt, ara la rep cap avall, i l'altra part al contrari. D'aquesta manera la bobina realitza una altra mitja volta i el procés es repeteix mentre gira el rotor.

Els motors elèctrics de corrent continu es poden diferenciar segons les diferències en magnetització de l'estator, aquests es separen amb quines connexions tenen entre motors i bobinats, però també existeixen un tipus de motors semblants als de corrent continu que poden controlar la posició exacte de rotació, s'anomenen motors de control.

### 2.2.4.1. Motors de control

La tecnologia ha permès crear nous tipus motors molt semblants a motors de corrent continua capaços de controlar la posició exacte de rotació en que es desitja assolir. Aquest en són els dos grans tipus:

- **Servo motor**, és un tipus d'aparell semblant a un motor de corrent continua amb la capacitat d'ubicar-se en qualsevol posició dins el seu rang d'operació, i mantenir-se estable en aquesta posició. A més a més de poder controlar la posició, un servomotor també pot controlar la velocitat.

Està conformat per un motor, una caixa reductora i un circuit de control. Amb altres paraules, un servo motor és un motor especial al que se li ha afegit un sistema de control (targeta electrònica), un potenciòmetre i un conjunt d'engranatges. Antigament aquests tan sols podien girar 180 graus, però actualment n'hi ha que poden controlar els 360 graus.

- **Motor pas a pas** és un dispositiu electromecànic que converteix una sèrie de polsos electrònics en desplaçaments angulars discrets, el que significa que és capaç de girar una quantitat de graus depenent de la seva entrada de control, normalment provinent d'un senyal electrònic programat. Aquest motor es comporta de la mateixa manera que un conversor digital-analògic i pot ser governat per impulsos procedents de sistemes digitals.

Aquets dispositius poden controlar posició i el servo motor pot arribar a controlar la velocitat també, però no han estat escollits ja que es volia estudiar el control del moviment amb un encoder magnètic i analitzar-ne tot l'electromagnetisme intern. L'estudi d'aquest moviment és més clar amb un encoder i no pas amb un servomotor per aquest projecte.

### 2.2.5. Reductora de velocitat

Tal com diu el nom, un reductor de velocitats és un sistema per a reduir o controlar la velocitat final d'un motor. Aquest es pot considerar com un dels invents més notoris i presents en l'actualitat, ja que es segueix utilitzant a pràcticament tota la maquinària que ens envolta.

L'ús més extens de la reductora de velocitats és l'adaptació de la velocitat d'un motor per entregar un parell motor adequat al funcionament del motor.

#### 2.2.5.1. Elements i conceptes que componen una reductora de velocitat

Tenir clar alguns conceptes ens ajudarà a entendre millor els elements i el funcionament del reductor de velocitats. Aquets són els següents:

- **Velocitat angular** o de gir, tal com indica el nom és la velocitat de rotació d'un eix, i les seves unitats segons el Sistema Internacional (SI), són els radiants per segon ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- El **parell motor** o "Torque", és el moment que pot transmetre un motor en cada gir. La seva unitat de mesura en el SI és el Newton per metre ( $\text{N}\cdot\text{m}$ ) tot i que és pot veure com quilogram per metre ( $\text{Kg}\cdot\text{m}$ ). El càlcul d'aquest és producte vectorial entre la força a desplaçar i la distància vectorial entre punt d'aplicació i punt de gir:

$$\tau[\text{N} \cdot \text{m}] = r[\text{m}] \times F[\text{N}] \quad (\text{Eq. 6})$$

- El **parell nominal** és el parell transmissible pel reductor de velocitat amb una càrrega contínua i uniforme. Està molt relacionat amb la velocitat d'entrada i la de sortida. La seva unitat en el SI és el  $\text{N}\cdot\text{m}$ .
- El **parell màxim** és aquell parell transmissible pel reductor amb una càrrega màxima abans que el moviment del motor sigui aturat. La seva unitat en el SI és el  $\text{N}\cdot\text{m}$ .
- **Potència mecànica** normalment expressada en SI en Watts (W), és la quantitat de treball per transmesa pel mecanisme durant un període de temps. En aquest cas és el producte de la potència aplicada en ser multiplicat per cada un dels rendiments de cada parell d'engrenatges del reductor de velocitat. Aquesta és calculada pel producte del parell motor i velocitat angular:

$$P[W] = \tau[\text{N} \cdot \text{m}] \cdot \omega[\text{rad/s}] \quad (\text{Eq. 7})$$

- **Potència tèrmica** és la pèrdua de potència en forma de calor que ha estat dissipada pel cos dels reductors de velocitat en la transmissió del moviment.

Els elements que componen un reductor de velocitats són el motor elèctric i la caixa reductora.

- El **motor elèctric** té una potència determinada i disposa d'una velocitat d'operació a la qual gira l'eix de sortida. Ambdues característiques, potència i velocitat angular, defineixen un parell motor que pot transmetre aquest. És el parell motor el que permet moure o no una determinada càrrega.
- Es denomina **caixa reductora** a un mecanisme que consisteix a la transmissió de moviment entre un seguit d'elements mecànics per reduir la velocitat de rotació del motor a canvi d'augmentar el parell motor. Tots els seus elements són igualment importants i es necessita una perfecta geometria i composició per a la correcta operació del sistema. Els components més comuns són engranatges, corones, volanderes, politges, pinyons i corretges. Un dels exemples més comuns són les caixes de canvis dels vehicles.

Entre la multiplicitat de possibilitats de la reducció de velocitats, es classificarà per reductores de velocitat amb transmissió mecànica de d'engranatges. Aquests o fereixen major rendiment energètic, menor manteniment i menor mida, els tipus són els següents:

- Reductores de velocitat de **vis sens fi- Corona**. És potser el tipus de reductor de velocitat més senzill, es compon d'una corona dentada, normalment de bronze en el centre s'ha embotit un eix d'acer (eix lent), aquesta corona està en contacte permanent amb un caragol d'acer en forma de Vis sens fi. Una volta del Vis sens fi provoca l'avanç d'una dent de la corona i en conseqüència la reducció de velocitat. La reducció de velocitat d'un conjunt Vis sens fi-Corona es calcula amb la relació entre el nombre de dents de la corona per volta del Vis sens fi.
- Els **reductors cicloïdals** es basen en un sistema de diferents parts. L'eix d'entrada d'alta velocitat és solidaria a una lleva excèntrica integral que per mitjà del contacte amb un disc cicloïdal baixa la velocitat de l'eix de sortida.
- Reductors de velocitat **planetaris o epicicloïdals** són uns sistemes d'engranatges (o *tren d'engranatges*) consistents en un o més engranatges externs o *satèl·lits* que giren sobre un engranatge central o *planeta*. Típicament, els satèl·lits es munten sobre un braç mòbil o *porta-satèl·lits* que al seu torn pot girar en relació al planeta. Els sistemes d'engranatges planetaris poden incorporar també l'ús d'un engranatge anular extern o *corona*, que engrana amb els satèl·lits. Veure la *Figura 16*.

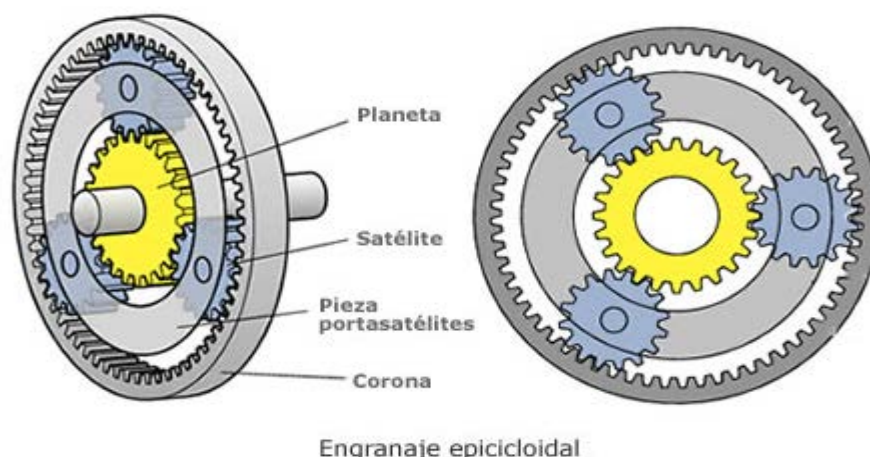


Figura 16. Funcionament d'un reductor planetari i identificació dels seus components. (Font: <http://www.transpart.com/7.html>)

- Reductors de velocitat amb **engranatges** són aquells en què tota la transmissió mecànica es realitza per parells d'engranatges de qualsevol tipus. Ofereixen major rendiment, menor manteniment i menor mida.

Hi ha diferents tipus d'engranatges com són els rectes, que transmeten el moviment entre dos eixos paral·lels; helicoidals, transmeten el moviment entre eixos que es creuen però sense tallar-se en l'espai; i cònics, transmeten el moviment entre eixos que es tallen.

Seguidament s'estudiarà el comportament de la reducció de velocitat en engranatges rectes per tal de determinar els fenòmens que apareixen a la transmissió de moviment d'aquest treball.

#### **2.2.5.2. Reductor de velocitat amb engranatges rectes**

Per aconseguir un reducció de velocitat amb engranatges rectes, el mecanisme haurà de ser format com a mínim de dues rodes dentades amb diferent diàmetres. El menor de les dues rodes dentades s'anomena pinyó i l'engranatge més gran se'n diu corona, especialment quan la diferència dels diàmetres és notable.

Quan dues rodes dentades engranen perfectament, llavors és perquè compleixen les següents condicions:

- Condició d'engranar, és a dir una rotació de transmissió constant.
- Recobriment, abans que s'interrompi el contacte entre una parella de dents dels dos engranatges, ja està en contacte el següent parell.
- Perfil simètric, la dent ha de ser simètrica en ambdós flancs de contacte per si s'inverteix el gir.

La construcció geomètrica de l'engranatge està determinada per un diàmetre exterior, un de primitiu i un interior. La circumferència primitiva és la circumferència intermèdia entre la circumferència exterior i la de fons o interior, i la seva importància prové que el moviment dels engranatges pot estudiar-se com a un rodament sobre ella. En cas dels engranatges normalitzats, l'espessor del forat i de l'amplada del dent sobre la circumferència són iguals. Veure la *Figura 17*.



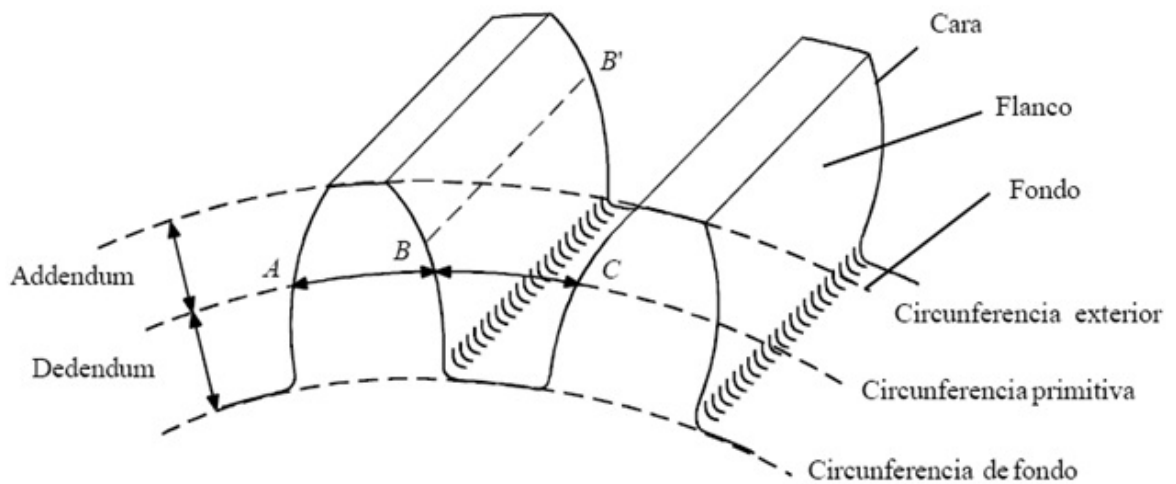


Figura 17. Nomenclatura dels engranatges. (Font: <http://www1.ceit.es/asignaturas/TeorMaq1/Apuntes/Cap5.pdf>)

Alhora les dents han de complir un perfil evolvent de cercle, és a dir que han de tenir una geometria determinada perquè engranin els dos engranatges i alhora siguin fàcils de construir.

Perquè dos engranatges engranin es condició necessària que tinguin el mateix pas circular. On aquest és la distància entre dos punts homòlegs de dents consecutius mesurats sobre l'axoide o en aquest cas, la circumferència primitiva. És el vector  $\overline{AC}$  de la Figura 17. Matemàticament, la condició d'igualtat de passos s'escriu,

$$p_1 = p_2 \quad (\text{Eq.8})$$

on  $p_1$  i  $p_2$  són passos circulars de les rodes 1 i 2. En un engranatge amb  $z$  dents i un diàmetre primitiu  $D$ , la longitud de la circumferència primitiva està proporcionalment relacionada amb el pas  $p$  i el nombre de dents

$$p \cdot z = \pi \cdot D \quad (\text{Eq.9})$$

Substituint en l'equació 9 l'equació 8 i simplificant, resulta

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (\text{Eq.10})$$

El moviment relatiu de dos engranatges es cinemàticament equivalent al rodament de les seves circumferències primitives, tal com s'indica a la Figura 18.

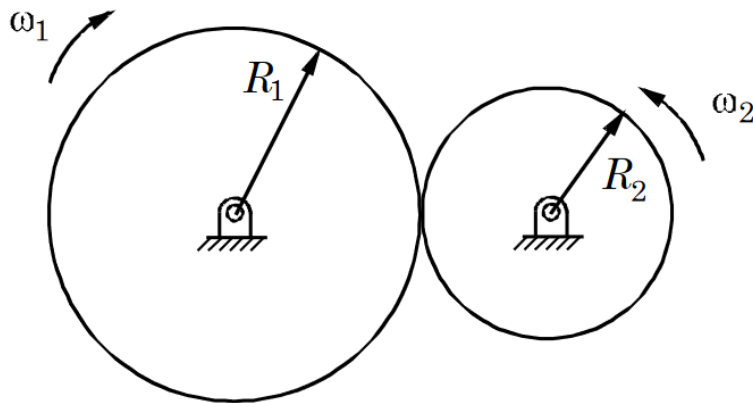


Figura 18. Rodament entre circumferències primitives. (Font: <http://www1.ceit.es/asignaturas/TeorMaq1/Apuntes/Cap5.pdf>)

Igualant les velocitats del punt en contacte s'obté

$$\omega_1 D_1 = \omega_2 D_2 \quad (\text{Eq.11})$$

Aïllant la relació de velocitats angulars, equació 11, i alhora tenint en compte l'equació 9 i l'equació 6, s'obté

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = i \quad (\text{Eq.12})$$

d'aquesta relació se'n diu relació de transmissió, i val a dir que serà una reductora en cas que número resultant sigui més gran a la unitat.

Per conveni, en comptes d'utilitzar el pas circular per definir la dent, s'ha adoptat un nou paràmetre anomenat mòdul,  $m$ , com el quocient entre el pas circular i el número  $\pi$ . Atenent a l'equació podem escriure

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{\pi \cdot D}{\pi \cdot z} = \frac{D}{z} \quad (\text{Eq.13})$$

Una altra característica dels engranatges és que durant la transmissió de potència les dents intercanvien una força d'acció reacció en un determinat angle respecte a la perpendicular a la recta del centre de la dent. Aquest angle sol ser de  $20^\circ$ , i se'n diu angle de pressió.

La força està aplicada en el punt en el qual el flanc de la dent està en contacte. La descomposició d'aquesta força descobreix dos components, la força tangencial  $F_T$  i la Força normal  $F_n$ . La força tangencial és la responsable de la transmissió de potència i la força normal és una component no

desitjable producte de la geometria de la dent. Ambdós paràmetres tenen coma unitat del SI els Newtons (N). Tal com es pot veure a la *Figura 19*.

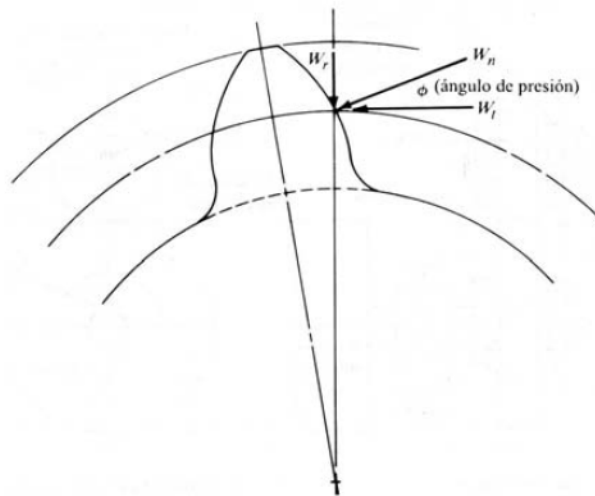


Figura 19. Descomposició de forces sobre una dent d'un engranatge recte. (Font: Apunts de Disseny de Màquines, Pedro Ortiz, UPC)

Així doncs es determina que la força tangencial és proporcional al parell motor, equació 6, i inversament proporcional al diàmetre primitiu, resulta

$$F_T = \frac{2 \cdot \tau}{D} \quad (\text{Eq.14})$$

I la força nominal

$$F_N = F_T \cdot \tan \alpha \quad (\text{Eq.15})$$

## 2.3. Aplicació en un ascensor d'un motor amb encoder magnètic.

Es busca demostrar que un motor controlat amb un encoder és més efectiu alhora de posicionar-se que no pas un motor normal. Per això es se'n veurà l'aplicació d'aquest control del motor per mitjà d'un prototip d'ascensor. En els apartats següents es descriurà les parts que formarà el prototip d'ascensor, el disseny del motor, les politges i l'estructura d'aquest, però sempre tenint en compte la que l'estudi de verificació és pel funcionament del motor i no pas per l'aplicació escollida.

### 2.3.1. Parts que el formen

El prototip estarà format per una estructura fixa, la cabina interior, el cablejat que uneix aquesta amb el contrapès mentre passa per dues politges situada una sobre la cabina i l'altre sobre el contrapès. Unes guies a les parets interior de l'estructura condueixen el moviment de la cabina per mitjà d'unes rodets fixades a la paret de la cabina. El contrapès de l'ascensor té un moviment ascendent i descendent, ja que penja per una de les parets laterals exteriors de l'estructura. A la part superior de l'estructura descansa el motor i el seu suport, on aquest trasllada el moviment de rotació i translació de tot el sistema gràcies a una politja a l'extrem del seu eix que guia la corda entre cabina i contrapès. Finament una politja a l'extrem superior de l'estructura suportada per un eix rotant, fa que el contrapès pugi o baixi segons el moviment de la politja motora.

S'han utilitzat contraxapats de fusta i pilars metàl·lics en forma de "L" per construir l'estructura, d'altre banda per minimitzar el pes de la cabina s'han utilitzats contraxapats més primers de fusta i combinats amb cantonades de plàstic units amb adhesius. La fixació del motor a l'estructura, el suport de la politja del contrapès o els pilars exteriors han estat fixats amb cargols.

### 2.3.2. Limitacions de la construcció del prototip al treball

La finalitat principal d'aquest prototip és verificar el funcionament real del motor amb encoder per tal de controlar la posició exacte i alhora veure'n l'aplicació a un prototip d'ascensor. Aquest prototip comptarà amb les parts i condicions essencials d'un ascensor, així com el disseny del motor i prototip de manera virtual, per tal de analitzar-ne els moviments.

El disseny del prototip depèn de les especificacions del motor, en gran part per la potència útil del motor. La potència i moment de gir del motor ha determinat les dimensions, materials i masses escollides per reproduir un prototip i per tant, demostrar l'ús d'un motor controlat amb un encoder. El prototip conté les parts essencials d'un ascensor, però el disseny normalitzat d'aquest prototip pot ser un altre futur projecte a tenir en compte. Tot i això s'han tingut en compte els materials emprats, dimensions i càrregues usades a la construcció del prototip de l'ascensor, tant per verificar que el motor en serà útil com per l'efecte ambiental que en pot designar.

D'altra banda el disseny del motor si que té un funcionament estàndard de motors de corrent continu, ja que la verificació del moviment d'un motor controlat amb encoder és l'objectiu que pretenem assolir.

### **2.3.3. Especificacions del motor i motius d'haver-lo escollit**

El motor escollit es pot trobar al mercat i ha estat escollit per les seves prestacions. Aquest és un motor de corrent continu amb un encoder integrat i alhora té una caixa reductora acoblada.

L'encoder unit al motor conté l'imant multipolar que gira solidari amb l'eix i està controlat per dos sensors d'efecte Hall. L'encoder conta 360 sortides digitals per volta de l'eix. La informació s'emet per 6 sortides cablejades, que contenen els senyals de l'encoder, i estan recollides amb un connector JST de 6 connexions després d'uns 90 mm de cable. Els cables estan identificats amb colors diferents referenciats al full tècnic del motor, es troba a l'annex A3.

El motor és de corrent continu, alimentat a 12 V a 2,5 A i amb una potència de 4,22 W, cosa que vol dir que pot moure una càrrega de 1,5 kg/cm, segons les dades tècniques. Alhora pot assolir una velocitat màxima de 200 rpm (revolucions per minut) i mínima de 1,5 rpm, tot i que la seva velocitat nominal és de 170 rpm. Aquest motor és l'EMG30.

Finalment conté una caixa reductor de 30:1, això significa que la velocitat de sortida disminuirà 30 vegades la del motor però el parell motor augmentarà en la mateixa proporció, guanyant així més força de gir però perdent velocitat de rotació.

### **2.3.4. Anàlisi dels imants permanents del motor amb encoder**

S'han analitzats els imants presents a un motor de corrent continu i a l'encoder que controlarà aquest ascensor, per tal de saber quines són les propietats necessàries que han de tenir aquests per tal d'aconseguir el correcte funcionament. S'han analitzats els imants permanents de l'estator d'un motor de corrent continu i l'imant de l'encoder utilitzat.

#### **2.3.4.1. Caracterització dels imants permanents de l'estator**

En molts dels motors de corrent continu, el camp magnètic de l'estator prové d'uns imants permanents en forma de semi cercle o teula que ocupen costats oposats de la carcassa. Aquests són imantats de manera radial, és a dir, que el seu camp magnètic és perpendicular a la superfície de l'imant i, on un dels pols magnètics es troba a l'exterior rodejant el semi cercle i el pol oposat a l'interior. A la vegada, en el cas dels motors CC, els dos imants estan polaritzats inversament, és a dir un imant tindrà el pol nord magnètic a l'exterior i l'altre el tindrà a l'interior. Veure la *Figura 20*.



Figura 20. Imantació radial dels imants i polarització oposada. (Font: Pròpia [esquerra] i <https://www.ima.es/direccion-de-la-imantacion.html> [dreta]).

En aquest cas s'estudiarà el material ferromagnètic d'aquests imants, agafant els imants presents a un motor de corrent continu qualsevol. Un cop analitzats al laboratori, en podrem determinar les propietats i així saber quin material pot ser aplicat alhora de dissenyar-ho.

Per determinar la polarització s'ha utilitzat un mesurador de pols, instrument usat pel control del camp dels pols magnètics. Aquest funciona enviant una senyal lluminosa que determina en quin sentit va el camp magnètic, i per tant detecta el pol magnètic, veure *Figura 20*. D'altra banda, també s'utilitza el visor de pols, que és un medi visual per determinar la disposició dels pols. Si es posiciona el visor sobre la superfície magnètica es pot observar el tipus d'imantació, nombre de pols... En aquest cas podem apreciar la imantació radial en la següent *Figura 21*.

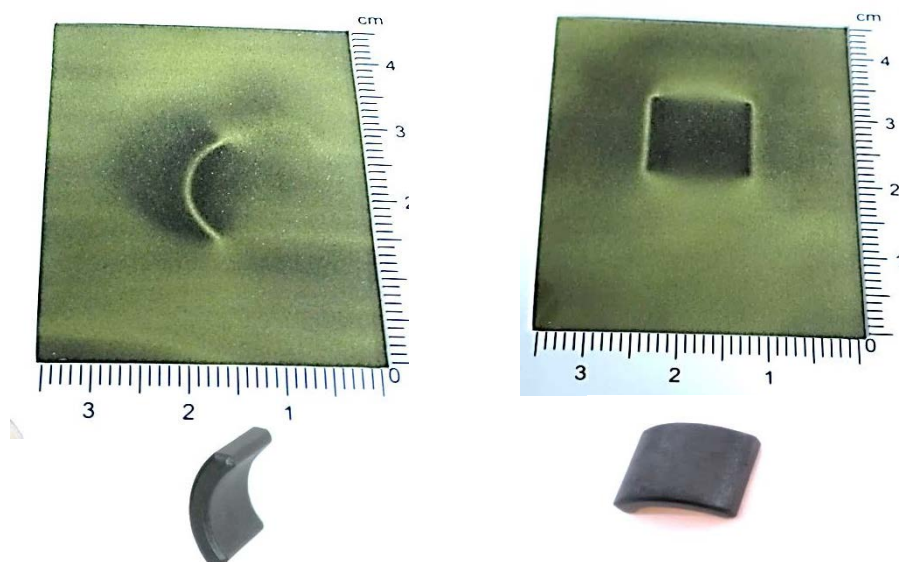


Figura 21. Control visual dels imants de l'estator amb el visor de pols. (Font: Pròpia)

Seguidament s'ha dimensionat l'imant per tal d'aconseguir saber les proporcions que s'ha de mantenir en l'imant. Totes les cotes han sigut obtingudes per mitjà d'un projector de perfils, un aparell de mesura que permet fer mesures quan no és possible utilitzar instruments convencionals, normalment per la diminuta mida de les peces. Mitjançant el projector de perfils s'aconsegueix una imatge més ampliada i per tant, una més mesura més senzilla i precisa. Es recullen les dimensions de la peça a la Taula 1, segons les cotes senyalades a la Figura 22.

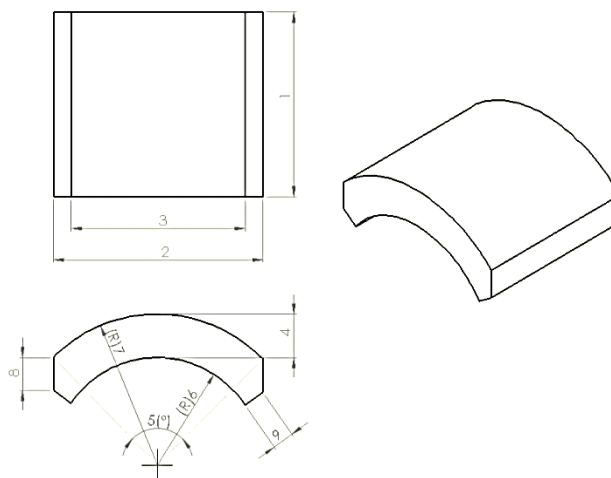


Figura 22. Cotes dels imants de l'estator (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Taula 1. Dimensionat dels imants permanents de l'estator

| Cota n <sup>o</sup>              | 1                   | 2                   | 3                   | 4                   | 5                  | 6                   | 7                   | 8                   | 9                   |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mesurat amb Projector de perfils | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (°) | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (mm) | Segons Fig 23. (mm) |
| Imant 1 (Nord exterior)          | 11.732              | 13.69               | 11.156              | 2.690               | 91.180°            | R6.767              | R9.594              | 1.825               | 1.436               |
| Imant 2 (Nord interior)          | 11.706              | 13.633              | 11.404              | 2.604               | 90.605°            | R6.933              | R9.562              | 1.832               | 1.354               |
| Mesura mitja d'imants            | 11.719              | 6.817               | 11.280              | 2.647               | 90.893°            | R6.850              | R9.578              | 1.829               | 1.395               |

També se n'ha determinat el material, una característica molt important del imant, ja que tot i no ser tan conegut hi ha un gran nombre de materials magnètics amb propietats molt diferents. Per saber la composició del material s'ha usat un espectròmetre de dispersió de raig X, que ajudarà a determinar quins elements químics el formen i en quin percentatge. Un espectròmetre de raigs X és usat per caracterització de materials usant l'excitació dels raigs X. En la Figura 23 se'n veu el resultat obtingut. A l'Annex A6, se'n pot veure l'informe obtingut.

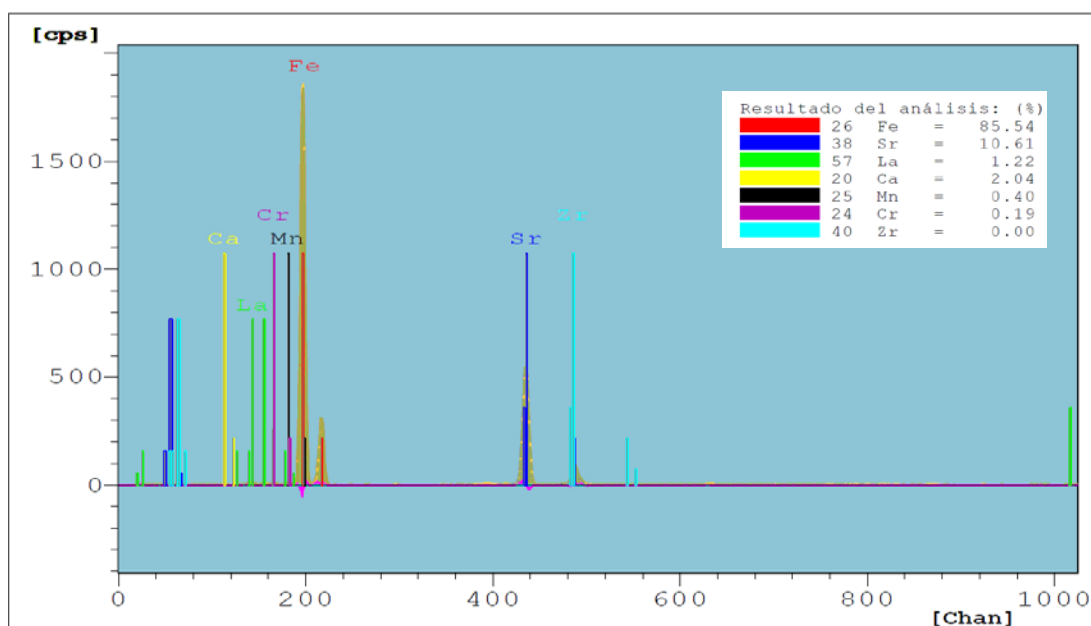


Figura 23. Espectre d'elements químics que formen l'imant de l'estator. (Font: Pròpia)

Al obtenir aquests resultats es determina que és ferrita ja que la composició trobada és pràcticament igual a la composició dels materials de l'empresa líder a nivell espanyol en enginyeria magnètica, IMA. La composició de la ferrita més comú (Y30BH) és de 85%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 14%  $\text{SrCO}_3$ , 0,5% en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i 0,5% en  $\text{CaCO}_3$ , el document oficial es troba a l'annex A8. Com es pot veure, la composició és molt semblant en elements químics i percentatges. D'altra banda la ferrita es sol barrejar amb polímers per tal d'augmentar les seves propietats mecàniques, i principalment, no ser tan fràgil. Es per aquest motiu que se n'ha fet un altre assaig per determinar si l'imant està compost a la vegada d'un polímer. S'ha posat l'imant a un espectròmetre d'infrarojos i se n'ha obtingut que conté poliuretà, per tant es pot verificar que el material usat és la ferrita Bonded. Segons el proveïdor d'IMA, la composició estàndard d'una ferrita Bonded és de 90-91 % de ferrita i de 10-9 % de polímer, veure resultats a l'annex A7. Se'n podria determinar la qualitat exacte del material usant la màquina permeàmetre, però s'ha descartat degut a la orientació d'imantació, geometria de la peça i perquè és un assaig destructiu.

Finalment se n'ha determinat els valors del camp magnètic. Aquests s'han obtingut usant un Gaussímetre, un instrument que per mitjà d'una sonda elèctrica disposada dins d'un camp magnètic, el corrent elèctric que circula entre el sensor i aparell varia i així quantifica el valor del camp magnètic. Els valors dels dos imants de l'estator es recullen a la *Taula 2* següent. Les unitats de camp magnètic del SI són en Tesles (T) tot i que sovint s'utilitza els Gauss (G) ja que és una unitat més petita.



Taula 2. Valors del Camp magnètic dels imants de l'estator

| IMANT           |  | Imant 1         |                | Imant 2         |                |
|-----------------|--|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| imant           |  | Nord (exterior) | Sud (interior) | Nord (interior) | Sud (exterior) |
| Gaussímetre (G) |  | -440            | 430            | -500            | 500            |
| Gaussímetre (T) |  | -0,044          | 0,043          | -0,050          | 0,050          |

Després de la caracterització de l'imant de l'estator o teula, es determina que ha de tenir una imantació radial, unes dimensions proporcionals a les vistes en aquest apartat i ha d'estar fet de Ferrita Bonded. Aquest material és el més adient ja que crea un camp de força suficient per l'atracció o repulsió amb l'electroimant de l'estator i a la vegada és dels materials magnètics més econòmics.

#### 2.3.4.2. Caracterització dels imant de l'encoder.

Com ja s'ha explicat anteriorment, un encoder magnètic està format per un sensor que envia un senyal elèctric i un imant, normalment són cèrcols multipolars. És a dir, són cèrcols ja que dins el diàmetre interior hi ha l'eix solidari a l'encoder i a fora, diferents pols que seran captats pel sensor.

Així doncs es pot dir que la imantació d'un imant d'encoder magnètic serà multipolar axial, és a dir que hi haurà un seguit de segments de pols negatius al costat de positius i així al voltant de tot el cercol. Tal com s'ha fet amb l'imant de l'estator, es comprova l'orientació de la magnetització amb el visor de pols i se'n verifica que es tracta d'un encoder de 6 pols axialment imantats. Veure la Figura 24.

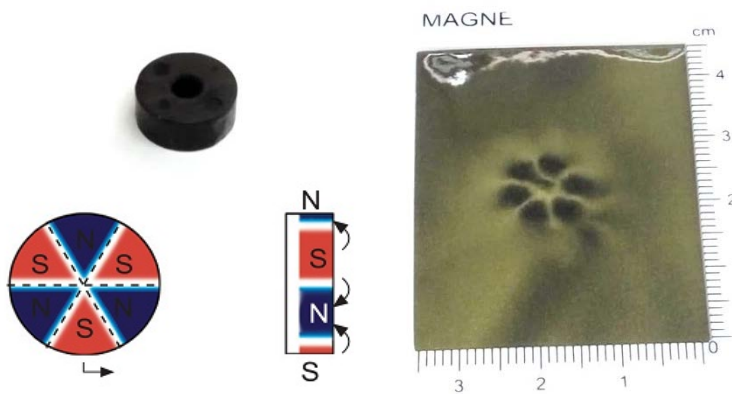


Figura 24. Imant de l'encoder i la seva imantació. (Font: Pròpia i <https://www.ima.es/direccion-de-la-imentacion.html>)

Aquest imant de l'encoder serà l'utilitzat i per tant és important determinar-ne el seu dimensionat. Per mesurar les cotes s'ha utilitzat el peu de rei i el projector de perfils, dos instruments per mesurar dimensions. En el cas del projector de perfils i amb l'ajuda del visor de pols, s'ha determinat els angles dels pols. Es poden veure els resultats a la Taula 3.

Taula 3. Dimensionat de l'imant de l'encoder

| Cota nº                 | Øext<br>(mm) | Altura<br>(mm) | Øint<br>(mm) | Angle<br>pol 1 | Angle<br>pol 2 | Angle<br>pol 3 | Angle<br>pol 4 | Angle<br>pol 5 | Angle<br>pol 6 |
|-------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Peu de rei              | 8,45         | 4,00           | 2,25         |                |                |                |                |                |                |
| Projector de<br>perfils | 8,447        | 4,037          | 2,331        | 49,88°         | 61,78°         | 61,93°         | 65,41°         | 50,79°         | 70,61°         |

A la vegada s'ha determinat el material amb l'ajuda d'un espectròmetre de raig X, que com ja s'ha dit, és un instrument per caracteritzar materials. La *Figura 25* recull els resultats. Per veure'n l'informe complet veure Annex A5.

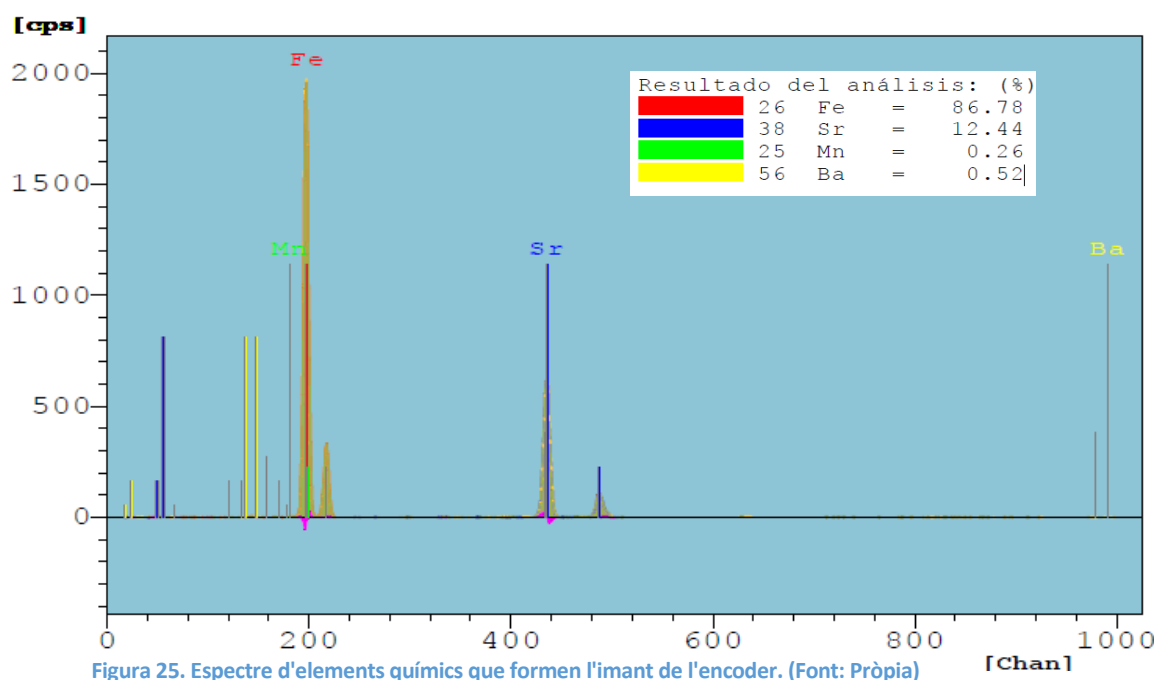


Figura 25. Espectre d'elements químics que formen l'imant de l'encoder. (Font: Pròpia)

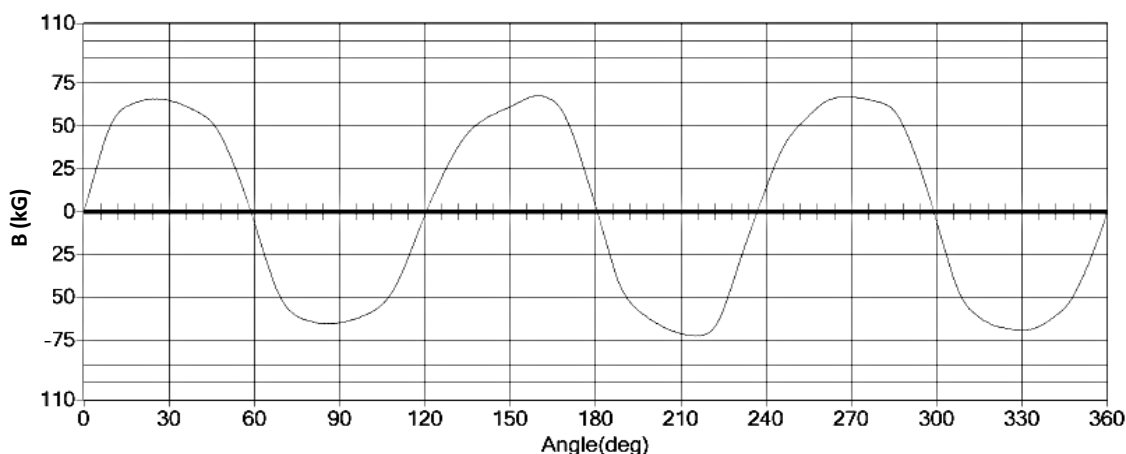
Tal i com s'ha descrit amb l'apartat anterior, aquest material concorda amb els percentatges de la ferrita i els elements químics que el componen. Les composicions utilitzades per l'empresa *Ingeniería Magnética Aplicada* (IMA) és de 85%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 14%  $\text{SrCO}_3$ , 0,5% en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i 0,5% en  $\text{CaCO}_3$ . Tot i que no s'ha pogut determinar si està compost d'un polímer i per tant, ser ferrita Bonded, visualment i comparant-la amb la teula anterior es podria fer aquesta suposició. Tampoc s'ha pogut determinar la qualitat exacte del material, degut a que l'orientació de l'imant i que l'assaig al permeàmetre és destructiu.

Finalment s'ha analitzat el camp magnètic de la peça amb un Gaussímetre de 3 dimensions, és a dir que pot determinar el camp magnètic de les peces de revolució amb imants multipolars. Per tal d'acoblar la peça a l'aparell es va haver de dissenyar un útil que subjecta la peça i la permet rotar com l'aparell. Se'n pot veure el plànol dins d'aquest apartat amb el nom de *útil de subjecció de l'encoder* i l'explicació d'aquest disseny al següent apartat 2.3.6.

En la següent taula, *Taula 4*, es pot veure els valors de camp magnètic aconseguits i alhora l'aparell ha determinat l'angle entre els pols. A més a més s'ha graficat els valors del camp magnètic envers els angles de l'imant, aconseguits fent girar l'imant mentre una sonda perpendicular a la superfície corba recollia les dades. Veure la relació sinusoidal del camp magnètic a la *Figura 26*. L'informe de l'assaig es pot trobar a l'Annex A4.

**Taula 4. Valors recollits al Gaussímetre de l'imant l'encoder**

| imant                         | Camp magnètic |         |       |         | Angle    |         |
|-------------------------------|---------------|---------|-------|---------|----------|---------|
|                               | Nord          |         | Sud   |         | Nord (°) | Sud (°) |
|                               | (G)           | (T)     | (G)   | (T)     |          |         |
| <b>Gaussímetre 3D (màx)</b>   | 676,8         | 0,06768 | 727,8 | 0,07278 | 61,92 °  | 61,74 ° |
| <b>Gaussímetre 3D (mín)</b>   | 660,6         | 0,06606 | 655,3 | 0,06553 | 58,68 °  | 56,16 ° |
| <b>Gaussímetre 3D (mitja)</b> | 669,6         | 0,06696 | 692,9 | 0,06929 | 60,24 °  | 59,64 ° |



**Figura 26. Reproducció del camp magnètic de l'imant de l'encoder. (Font: Pròpia)**

L'imant de l'encoder que s'utilitzarà té una imantació axial multipolar de 6 pols, té les dimensions descrites, i és fet de ferrita Bonded. La ferrita Bonded ens proporciona unes millors propietats mecàniques que la ferrita i a la vegada el camp de força per activar el sensor inductiu és suficient. En cas que l'imant tingués molta força de camp magnètic, la lectura del sensor inductor es podrien veure afectades per interferències dels diferents pols. Finalment, els 6 pols en rotació dibuixen una corba sinusoïdal en que el camp magnètic augmenta i decreix cíclicament, necessari perquè l'encoder determini la posició del motor segons la seva rotació.

### 2.3.5. Disseny virtual del motor

Com ja s'ha comentat a les especificacions del motor a l'apartat anterior, el motor està al mercat i conté tres parts importants, la caixa reductora, el motor de CC i l'encoder amb la seva electrònica. En el cas de la reductora se n'ha desmuntat la carcassa i s'han respectat en tot moment les relacions de transmissió mecàniques, tot i que s'han adoptat dimensions semblants, s'ha dissenyat curosament les relacions mecàniques respectant les normes de disseny d'engranatges. El motor no se li ha pogut treure la carcassa i és per això que s'ha dissenyat la totalitat del funcionament a partir d'altres motors de corrent continu. Si es fa referència a la tecnologia de l'encoder, se n'ha adoptat un model bastant semblant al real, ja que es volia aconseguir la màxima similitud a la realitat. Així doncs s'han dissenyat totes les parts descrites anteriorment amb l'ajuda del programa CAD SolidWorks. El resultat final es pot veure a la *Figura 27* tot i que seguidament s'explicarà amb detall el disseny.

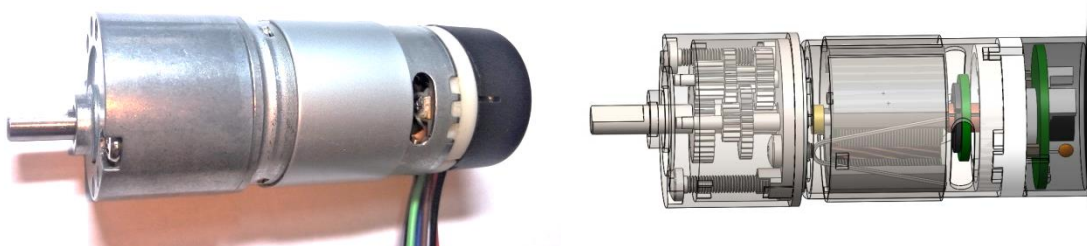


Figura 27. Motor EMG30 real i el seu disseny virtual amb vista transparent. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Per dissenyar la reductora s'ha començat per la complir la relació de transmissió indispensable de reduir la velocitat 30 vegades i augmentar-ne el parell motor en la mateixa proporció. Per tal de complir-ho s'ha adoptat igual nombre de rodes dentades amb el mateix nombre de dents en elles, la construcció d'aquestes s'ha dissenyat segons la normativa europea ISO provinent del SolidWorks. Però a la vegada s'ha hagut de tenir en compte els diàmetres dels engranatges pel disseny del xassís que els conté. Així doncs se n'ha estudiat el comportament real per després fer el disseny.

El tren d'engranatges està format per vuit rodes dentades rectes comptant-ne set de la reductora i un de l'engranatge conductor del motor. En l'apartat 2.4.2, se n'ha calculat totes les especificacions dimensionals i de transmissió de potència per tal que el moviment sigui exacte a la realitat tant a l'entrada com a la sortida dels eixos.

Amb l'ajuda de l'eina de *Toolbox* del *SolidWorks* s'han dissenyat les rodes dentades, ja que aquesta eina crea engranatges estàndard per tal que aquests puguin engranar entre ells, sempre que es compleixin unes condicions de construcció. A més a més es poden escollir, entre una enorme llibreria de dades, en quina normativa es vol dissenyar-les, però a la vegada, podent personalitzar els paràmetres de les rodes dentades. D'altra banda, una de les avantatges del *SolidWorks* és la personalització del material de construcció emparat en aquests engranatges, en tots els engranatges se n'ha designat l'acer inoxidable AISI 1045 (segons la normativa americana i del *SolidWorks*) equivalent a l'acer F-114 de la normativa espanyola UNE. Aquest acer ha estat escollit ja que proporciona un nivell mig de resistència mecànica i tenacitat a baix cost amb respecte als acers de baixa aleació. L'AISI 1045 pot ser endurit per mitjà de tractaments tèrmics i gràcies això pot ser mecanitzat fàcilment. Aquest acer presenta un bon acabat superficial i una llarga vida útil.

A la vegada també s'ha dissenyat la carcassa del motor i el xassís de la reductora, de tal manera que els engranatges giressin amb precisió i espai però sense tenir pèrdues en la transmissió del moviment. Com ja s'ha comentat els diàmetres dels engranatges limiten el disseny del xassís, ja que els eixos que els contenen havien d'estar a la distància exacte perquè engranessin totes les rodes dentades. Per aconseguir-ho s'han deslocalitzat, del centre del xassís, tres eixos, ja que des del centre l'engranatge conductor del motor fa girar sis engranatges més disposats en dos eixos que no giren solidaris amb aquest, sinó al voltant d'aquest, i l'últim engranatge fa girar un tercer eix, l'eix extern. A la *Figura 28* se'n pot veure la disposició dels engranatges diferenciats amb colors si giren solidaris entre ells i la disposició real al seu costat ( els engranatges estan coberts d'oli per una rotació més suau i efectiva). Tot i la semblança real, s'han hagut de fer molts ajustos en el disseny amb *SolidWorks* degut a la necessitat de precisió entre la distància d'eixos, la correcta transmissió entre tots els engranatges i evitar el solapament entre peces.

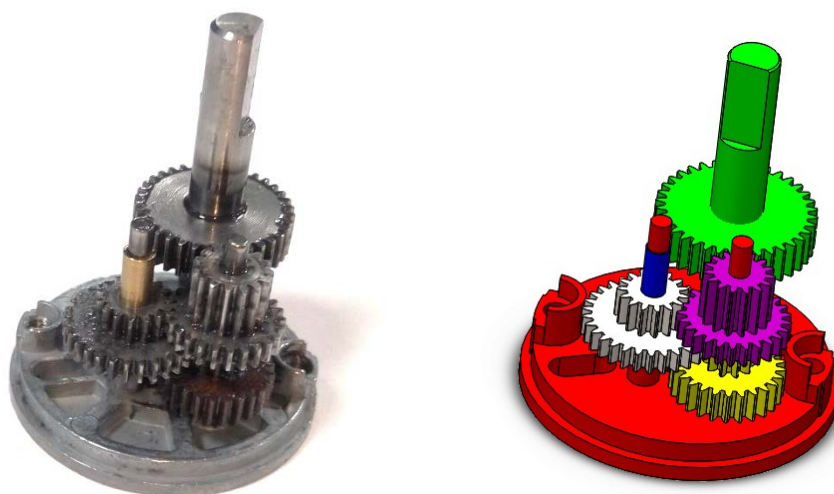


Figura 28. Disseny virtual de la caixa reductora a la dreta i la real a l'esquerra. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Es per això que la carcassa exterior s'ha dissenyat de la mateixa manera, amb el forat per l'eix de sortida deslocalitzat del centre de la peça. La carcassa té algun detall més estètic, ja que com s'ha comentat, és un motor que es pot trobar al mercat. La carcassa s'uneix amb el xassís per mitjà de dos cargols de mètrica 3 (M3) per dos extrems laterals. En la *Figura 29* es pot veure la carcassa sobre el xassís amb l'eix descentralitzat i les dues ranures laterals on hi ha les rosques M3. Tant el xassís com la carcassa s'ha escollit que el material sigui d'acer inoxidable AISI 1020 que equival a l'acer F-112 de la normativa UNE. S'ha escollit aquest acer ja que es comunament utilitzat per peces estructurals que no estan sotmeses a grans esforços mecànics, però que tenen una bona tenacitat degut que estan conformats per manganès i una composició baixa de carboni i a la vegada és fàcil de soldar.

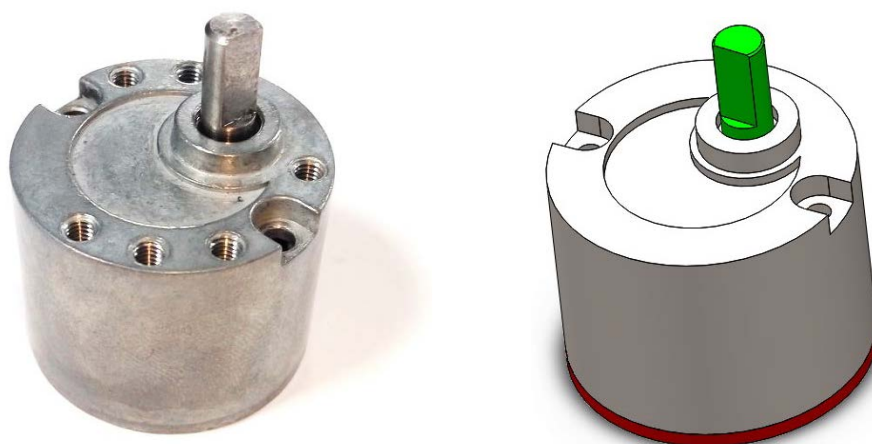
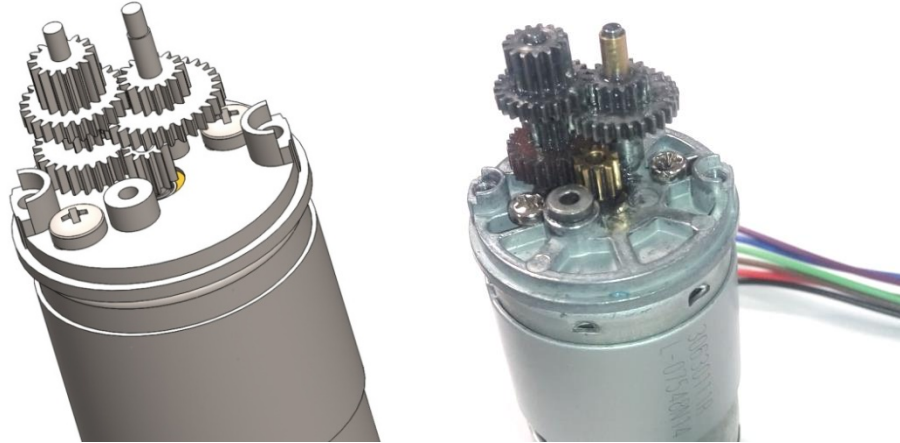


Figura 29. Disseny de la carcassa de la reductora a la dreta i la carcassa real a l'esquerra. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

La caixa reductora s'uneix al motor per dos cargols de mètrica M3 al motor, tal com es veu en la imatge següent, la *Figura 30*.



**Figura 30.** Model virtual i real de la unió de reductora i motor. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

El motor té les dimensions exteriors següents, un diàmetre de  $\varnothing 27,5$  mm i una alçada de 59 mm des de la carcassa de l'eix fins l'engranatge conductor del motor, dimensions necessàries per la transmissió de moviment entre reductora i motor. El motor està conformat per moltes peces relacionades entre si, però per explicar-ne el disseny es dividirà en rotor, estator i encoder. El disseny del motor s'ha realitzat sabent les parts que el conformen i la teoria de funcionament d'aquest, i a la vegada amb l'ajuda d'un altre motor de corrent continu desmuntable. És per aquest motiu que moltes de les imatges següents no tenen el seu equivalent real i tant sols el disseny amb el programa CAD.

El rotor està format per un eix, un col·lector de galgues, unes escombretes de corrent, el rotor giratori, un coixinet i l'engranatge conductor. Veure *Figura 31*.



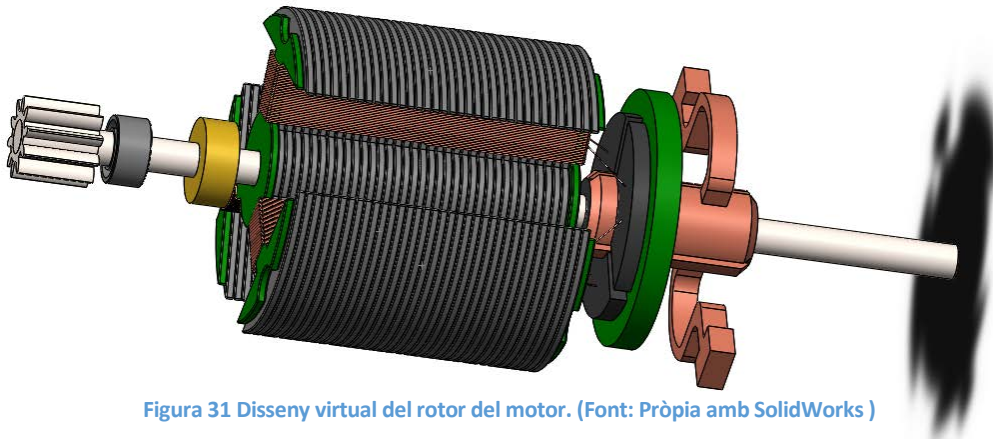


Figura 31 Disseny virtual del rotor del motor. (Font: Pròpia amb SolidWorks )

L'engrenatge situat a l'extrem de l'eix i solidaris entre si, engrana directament amb els engranatges de la caixa reductora, aquest té 10 dents i el material escollit és l'AISI 1045, pel mateix motiu que els altres engranatges. Si es segueix l'eix s'hi pot veure un coixinet i un cilindre. Sobre el coixinet descansa l'eix en la carcassa, ja que aquest és fix a la carcassa per una altre peça. D'altra banda el cilindre disposat sobre l'eix i que a la vegada giren junts, és tan sols un cilindre que limita que l'eix es mogui axialment dins del motor. Aquestes dues últimes peces estan fetes amb acer AISI 1035 (F-113 segons la norma UNE), degut a que és un acer comunament utilitzat a la maquinària, no és magnètic i

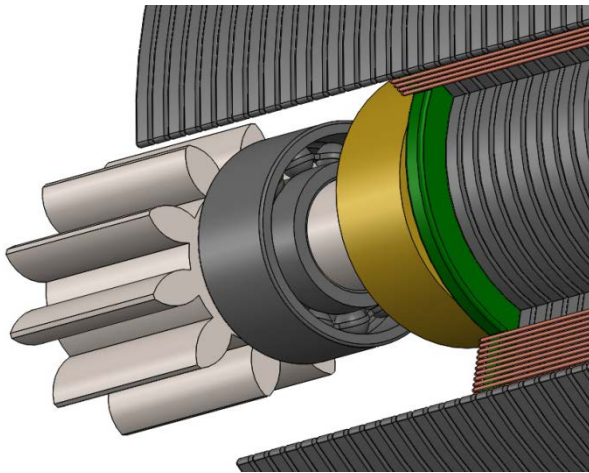


Figura 32. Vista de l'extrem de l'eix. (Font: Pròpia amb SolidWorks )

és resistent. D'altra banda els eixos solen estar construïts amb materials molt resistents tant a esforços mecànics com al desgast, en aquest cas s'ha escollit l'acer AISI 1045 degut a que les seves propietats mecàniques són suficients als esforços que pot patir amb unes dimensions i velocitats tan petites i no és magnètic. Veure la Figura 32.

El rotor giratori està format per 35 làmines de ferro laminat i té una geometria amb tres mitjos arcs a les puntes separats  $120^\circ$  i dues tapes de plàstic als extrems, amb una forma semblant, que tanquen el rotor. En cada braç de les làmines de ferro, que van des del centre fins als semicercles exteriors, una bobina de coure de  $\varnothing 0,07$  mm s'enrotlla al voltant d'aquest. Aquestes tres bobines tapen els tres braços de les peces de ferro laminat, cosa que provocarà una magnetització d'aquests tres semicercles quan l'electricitat flueixi per les bobines. La disposició de les bobines està pensada d'aquesta manera ja que primerament un camp magnètic augmenta si travessa un material fèrric tal



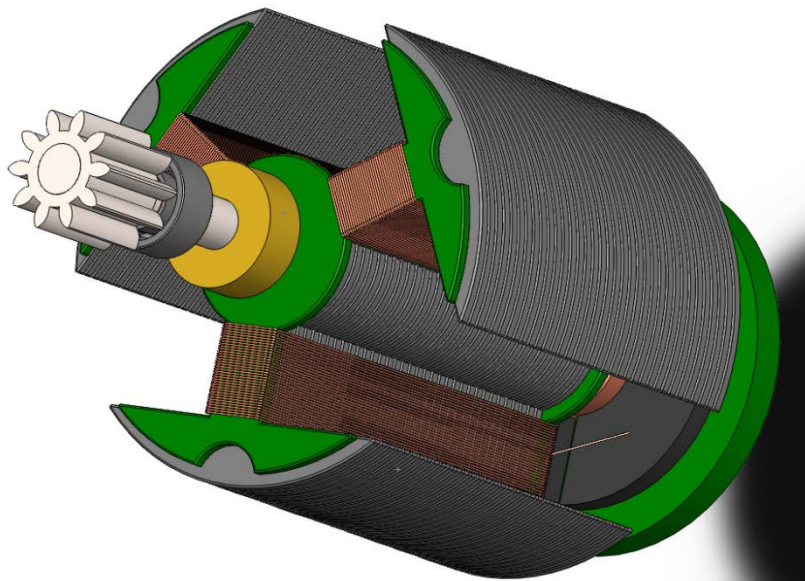


Figura 33. Vista del rotor laminat i la bobina que el magnetitza. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

com són les làmines de ferro. El segon factor i més important, és que les línies del camp magnètic surten per una de les dues superfícies obertes de la bobina (part de la bobina on no hi ha cable enrotllat) i tornen a entrar per l'altre superfície oberta. És per aquest motiu que les línies de força travessen i per tant magnetitzen el semicercle laminat exterior i

d'aquesta manera crear atracció o repulsió amb els imants permanents de la carcassa. I tercer, la seva forma exterior és circular degut a que el rotor girarà concèntric als imants de l'estator però ho farà a poca distància d'aquests i per tant, les distàncies han de ser ajustades però no poden arribar a xocar. Veure la *Figura 33*.

El laminat del rotor està fet làmines de ferro colat, escollit per les seves propietats magnètiques, que és un material dur i és resistent a la corrosió. Les tapes del rotor, es pot veure en verd a la imatge, estan fetes del termoplàstic ABS ja que té una alta resistència als cops. Per últim, la bobina està feta de filament de coure degut a les seves altes propietats elèctriques, en especial la conducció elèctrica.

A la part anterior del motor es troben les dues últimes parts del motor, el col·lector de galgues i les escombretes. Val a recordar que el col·lector és l'element del motor que distribueix la corrent elèctrica a les bobines i alhora és solidari amb el gir de l'eix, i d'altra banda les escombretes subministren la corrent a les galgues del col·lector. Veure *Figura 34*.

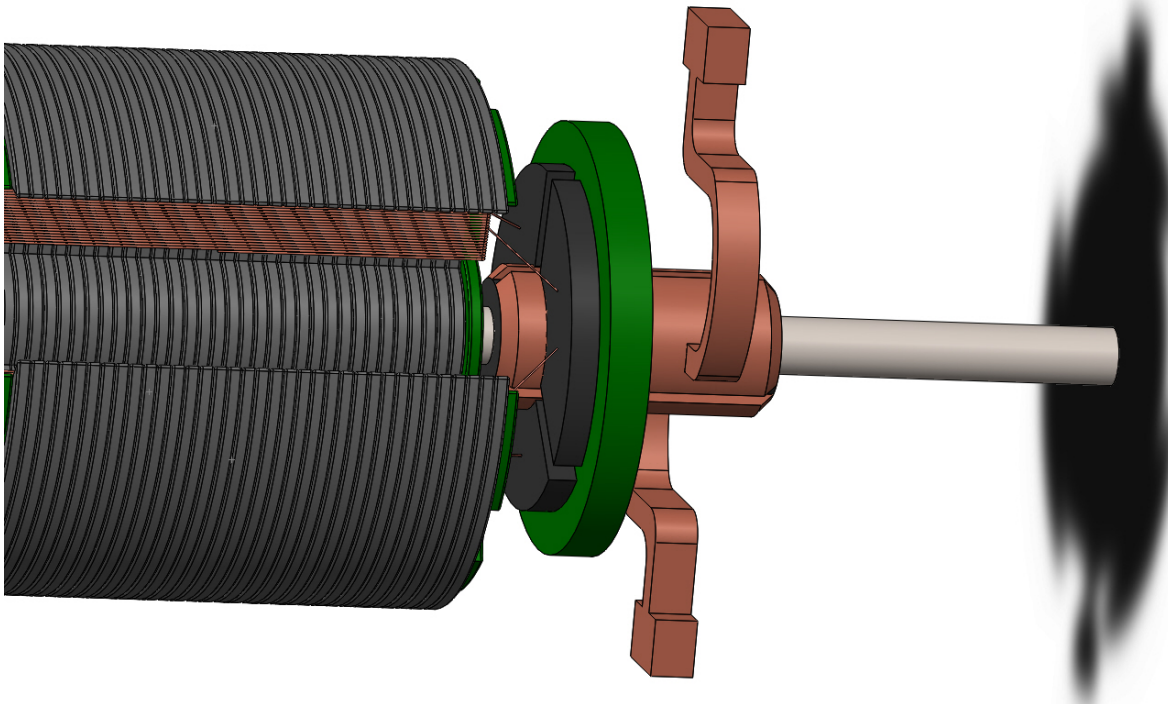


Figura 34. Part anterior del rotor on es subministra i distribueix el corrent a les bobines. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Les escombretes subministren l'electricitat al rotor provinent d'una font d'alimentació externa. La corrent és transportada fins les escombretes amb unes peces de coure que travessen l'interior del motor fins a connectar-les amb els cables de connexió a la font. Així doncs, les escombretes són conductores, i per tant estan fetes de coure, a la vegada la seva forma és molt important, ja que hauran d'estar en permanent contacte amb les galgues que constantment estaran girant. Per altra banda, les galgues giren solidaries amb el col·lector, i aquestes tenen una forma cilíndrica amb un forat central per l'eix, i a l'exterior la superfície està dividida en tres seccions semi circulars. L'electricitat passa a través de les escombretes i les transporta a dues de les tres seccions de les galgues, tal i com es pot veure a la *Figura 35*. En aquesta imatge es mostra la successió de passos que experimenta en un gir de 360. Un dels semicercles del rotor està identificat amb un punt groc per tal de veure l'angle girat, i cada secció de les galgues està identificada amb les lletres A, B o C. El gir de les galgues i rotor són solidaris a l'eix i que les escombretes sempre són fixes en la seva posició. Al ser corrent continua, es pot establir que una de les escombretes sempre serà el born positiu, en aquest cas la vermella, i l'altra escombreta serà el born negatiu, en aquest cas la groga. En el primer pas la corrent fluïrà de la galga del col·lector A a la B, en el segon pas passarà del C a la B i finalment de C a l'A. Si es segueix girant el corrent flueix en sentit contrari, de la galga B a la A, seguidament de la B a la C i abans de completar la volta passaria de A a C. Les galgues transmetrant la corrent al col·lector i aquest ho distribuirà a les bobines. D'aquesta manera les bobines es polaritzaran en un o altre sentit depenent del sentit de circulació de corrent.

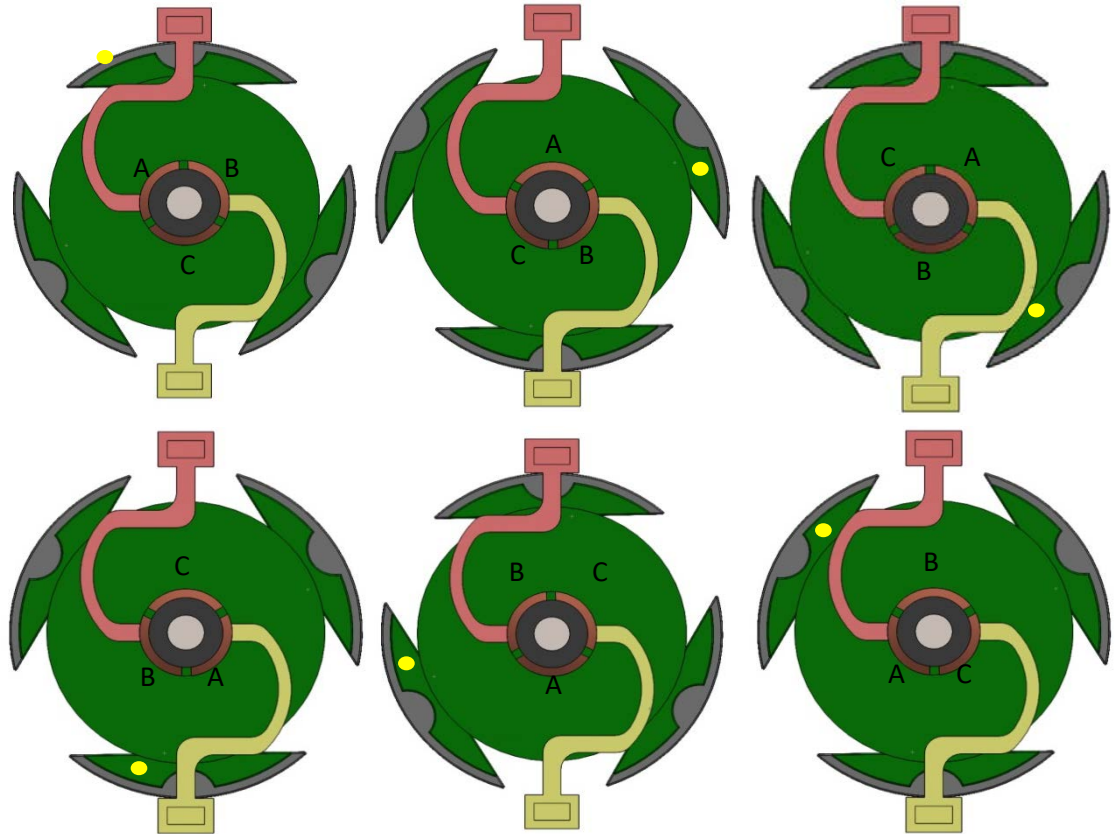


Figura 35. Cicle de subministració de corrent entre escombretes i galgues en una volta. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

El col·lector té com a objectiu principal distribuir corrent elèctric a qualsevol bobina i en qualsevol direcció de circulació, és a dir que els dos extrems del filferro enrotllat han d'acabar al col·lector. El col·lector està format per tres seccions que a les vegades estan en contacte amb les tres seccions de les galgues. Tant les galgues com el col·lector giren solidaris amb l'eix. Cada secció del col·lector és conductora elèctrica però independent de les altres i allà estan soldades un dels extrems de dues de les tres bobines. El mateix passa amb les altres dues seccions i d'aquesta manera s'interrelacionen totes les entrades i sortides de les bobines a les seccions del col·lector, tal com es pot veure a la vista tallada del rotor a la *Figura 36*. Si s'analitza aquesta figura identificant les seccions del col·lector amb les mateixes lletres i a la mateixa posició que les galgues, es pot veure que si la corrent passa d'una secció a una altra, el sentit de la corrent travessant la bobina canvia. Per exemple, tenint en compte el primer i quart pas de la figura anterior, *Figura 35*, de la secció A a la B i de la B a la A, es veu amb claredat que el corrent circularà en sentits contraris i això comportarà una orientació de magnetització diferent.

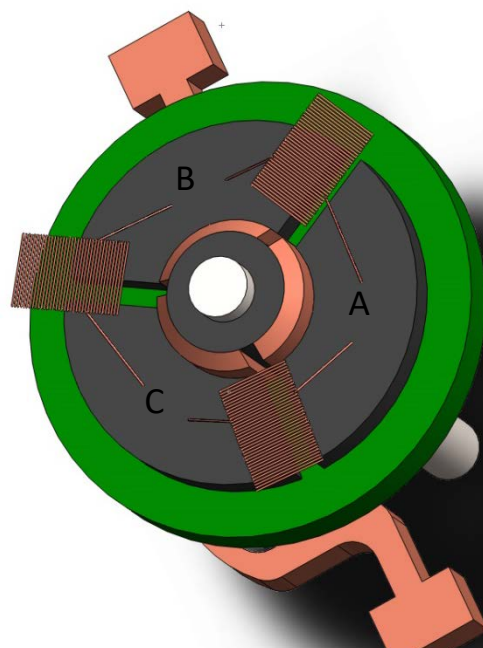


Figura 36. Vista tallada del rotor amb les connexions del col·lector a les bobines. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Per altra banda, hi ha l'estator que està format per una carcassa exterior, una anella exterior protectora de la carcassa, una tapa final, un cilindre fix a la carcassa on es disposa el coixinet, un disc separador amb la reductora, dos imants permanents semicirculars i una pinça interior per fixar els imants. Es pot veure el disseny de l'estator sencer i tallat en la *Figura 37*.

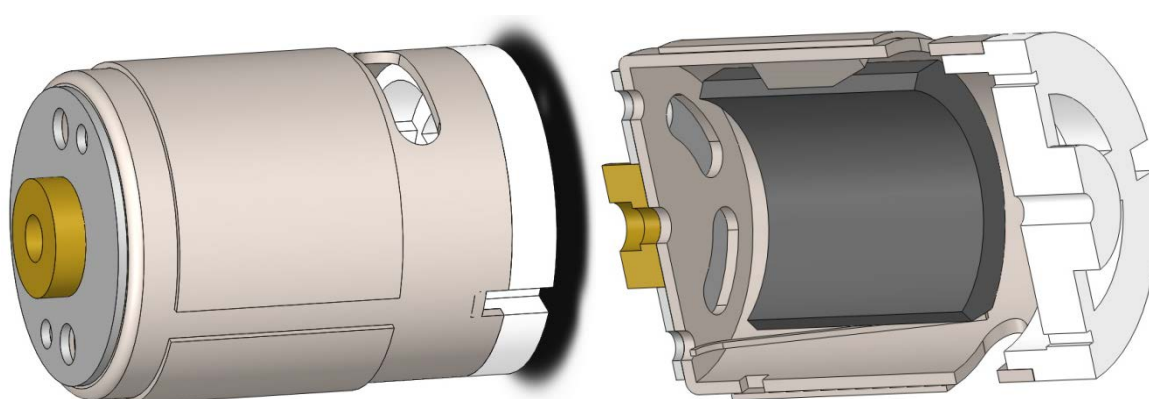


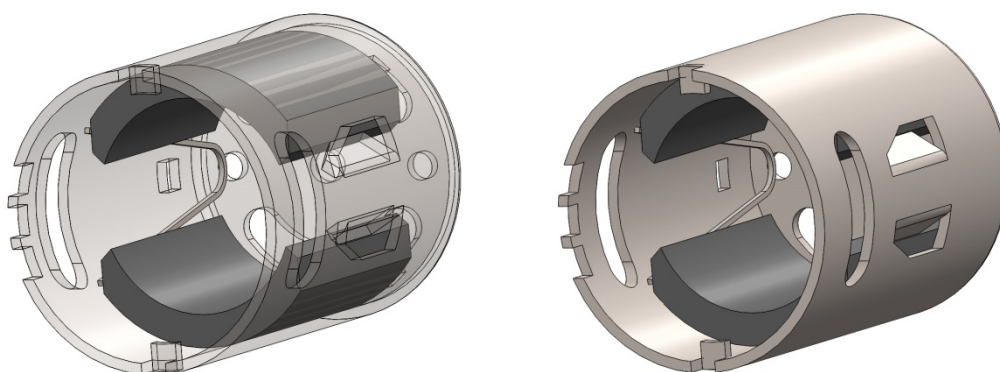
Figura 37. Disseny virtual de l'estator del motor i el model tallat. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

El disseny de la carcassa ha estat detalladament pensat per tal que el rotor giri lliurement al seu centre i el pugui contenir tot dins seu, que pugui mantenir immòbils els imants, que uneixi la carcassa i reductora, i que la transmissió de gir arribi tant a la reductora com a l'encoder. En primer lloc hi ha els forats de la part superior de la carcassa, el central és perquè aguantí l'eix de gir i dos altres són rosques de mètrica M3 per fixar la reductora amb dos cargols. Dins de la carcassa hi ha un seguit de

pestanyes que limiten el moviment dels imants per tenir-los a la posició desitjada. El rotor gira dins de la carcassa, però l'eix s'estén pels dos extrems per tal de transmetre la rotació, per una banda amb l'engrenatge motor i per l'altre a l'encoder. A la vegada el rotor pot girar sense tocar cap part de l'estator degut al seu disseny cilíndric interior.

Per a la carcassa del motor s'utilitza el mateix acer que la carcassa de la reductora, l'acer AISI 1020 o F-112 segons la norma UNE, ja que és una peça estructural i no està sotmès a grans esforços mecànics. L'anella que envolta la carcassa del motor i el disc que separa la reductora i el motor estan fets d'alumini i zinc AC43A, respectivament. La tapa anterior de la carcassa està feta amb el termoplàstic ABS per la seva resistència mecànica, la pinça interior està feta d'alumini ja que necessita certa elasticitat i per acabar el disc que conté el coixinet està fet de llautó.

D'altra banda tenim els dos imants o teules amb orientació magnètica radial, que proporcionen un camp magnètic permanent dins del motor. Aquests estan fets de ferrita Bonded, tal com s'ha caracteritzat a l'apartat 2.3.4.1. Les teules estan completament oposades dins del motor i mentre que una de les teules té el pol nord magnètic a l'interior de la teula, l'altra ho té a l'exterior, per tant, hi ha un camp magnètic permanent a l'interior del motor. Els imants estan fixats a l'interior per un seguit de pestanyes de la carcassa i per la pinça. La disposició dels imants de l'estator es pot veure a la *Figura 38*.



**Figura 38.** Disposició dels imants permanents dins de la carcassa. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Si s'uneixen les dues parts fonamentals que formen el motor, rotor i estator, se n'obté el mostrat a la *Figura 39*.





Figura 39. Model real i virtual del motor. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

L'encoder i la seva tecnologia està a la part posterior del motor. L'eix de gir fa girar un imant en forma de disc imantat axial a 6 pols, que emet senyals als dos sensors inductius i després que el corrent passi per una placa integrada deriva en 6 cables de sortida, dos de les connexions de font d'alimentació del motor i els quatre restants dels senyals rebuts per l'encoder. El disseny de l'encoder és molt simple, una placa integrada amb components electrònics en ella d'on surten dues patilles que porten l'electricitat fins a les escombretes del motor, un disc magnètic amb sis pols que induirà als sensors, i una carcassa per protegir-ho. S'uneix amb cola a la tapa anterior del motor per tal de fixar l'encoder. Els materials emprats són fets del termoplàstic ABS per la seva resistència mecànica, una placa de silici i unes patilles de coure. Veure la *Figura 40*.

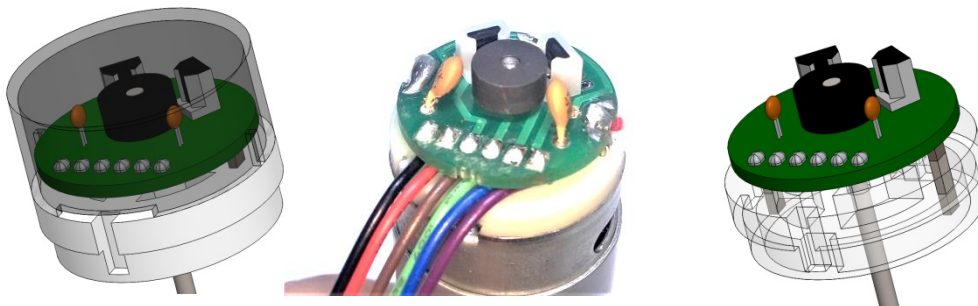


Figura 40. Model real i virtual de l'encoder. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

Finalment s'ha realitzat un vídeo on es pot veure tot l'explosionat del motor i per tant, veure totes les peces que el conformen. El vídeo està en l'enllaç següent: <https://youtu.be/PddVbDy2Fsl>.

### 2.3.6. Disseny i impressió 3D de politges

Un cop revisat el mercat i al veure que no hi havia manera fàcil i personalitzada d'aconseguir unes politges amb els diàmetres que es necessitaven pel prototip, es va procedir a dissenyar-les i imprimir-les amb una impressora 3D. D'altra banda, per a l'anàlisi de l'imant de l'encoder es necessitava un útil capaç de subjectar l'imant i rotar amb la màquina, així que també s'ha dissenyat.

Els dissenys de les 3 peces ha sigut amb SolidWorks guardats amb format STL, un format d'arxiu informàtic de disseny assistit per computadora (CAD) que defineix la geometria dels objectes 3D, excloent informació com color textura o propietats físiques. Al guardar-ho amb aquest format, SolidWorks té una tolerància de desviació de 0,003 mm, menyspreable en aquest cas.

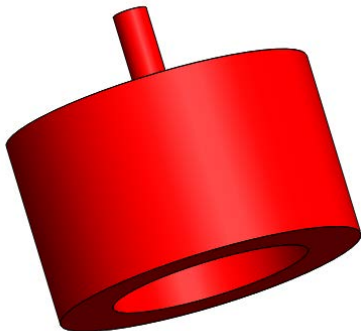


Figura 41. Útil de subjecció de l'imant de l'encoder. (Font: Pròpia amb SolidWorks)

L'útil per subjectar l'imant de l'encoder es va dissenyar tenint les següents condicions, es necessitava un cilindre per encaixar l'imant en forma de cercol de la mida del diàmetre interior i que no hi hagués joc, ja que l'útil i l'imant havien de girar solidari a la màquina. D'altra banda per subjectar l'útil la màquina disposava d'un mecanisme que s'adaptava a diferents diàmetres interns, per tant s'havia de fer un útil amb un diàmetre suficientment gran perquè la màquina s'ajustés interiorment i rotés alhora. Així doncs es va decidir optar per un cilindre buit per dins amb una tapa superior i un cilindre petit, amb el mateix diàmetre interior que l'imant, a dalt de la tapa. Veure la Figura 41.

D'altra banda s'han dissenyat les dues politges diferents entre elles, tot i que la ranura per la corda serà igual. Aquesta ranura no és recta, té certa pendent per tal d'aconseguir més fricció amb la corda i per tant, més transmissió de moviment. La principal condició és que una havia de tenir un diàmetre interior una mica superior a 4 mm i l'altre ha de tenir les mateixes dimensions que l'eix de sortida del motor. A més a més, les dues politges tenen una cosa en comú, un seguit de forats cilíndrics al voltant de l'eix de la peça per tal de poder identificar visualment la rotació.

En primer lloc la **politja motora** ha d'anar encaixada a l'eix del motor, això vol dir que l'exactitud del disseny i impressió és molt important. L'eix del motor és de diàmetre 5mm però la part superior està tallada paral·lelament a 1,5 mm del centre de la circumferència. Així doncs la geometria seguirà aquestes dimensions i s'estendrà pel mig de la politja i allargant-se uns mil·límetres més en forma de cilindre, per aconseguir cobrir els 9mm d'aquesta geometria en l'eix. Aquesta politja ha de tenir el màxim i més ajustat contacte possible amb l'eix, per tal de transmetre el màxim moviment i mínimes pèrdues.

D'altra banda la **politja conduïda** és la que transmetrà el moviment al contrapès. Com ja s'ha comentat aquestes tenen la mateixa ranura i uns forats circulars interiors, però en aquest cas el diàmetre intern ha de ser una mica superior a 4 mm, ja que l'eix que el suportarà així està construït. La politja contempla dos cilindres sortints, un per cada banda del diàmetre interior, perquè aquest tingui més superfície en contacte amb l'eix. Veure la Figura 42.

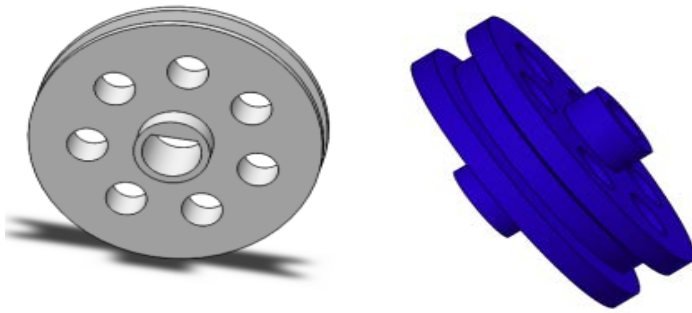


Figura 42. Dissenys de politja motora a l'esquerra i politja conduïda a la dreta. (Font: Pròpia)

La impressió dels dissenys de les peces es farà amb una impressora en 3 dimensions per injecció fosa de plàstic, aquesta crea el model de capa en capa dipositant el termoplàstic fos en cada secció. El procés es repeteix a totes els nivells fins que totes les capes han sigut impreses. En aquest cas s'utilitza el termoplàstic ABS ja que és un material molt resistent i tenaç fins i tot en baixes temperatures, molt utilitzat en el sector de l'automòbil i petites mecanitzacions.

En aquest cas s'ha utilitzat una impressora 3D en que dins les seves especificacions es senyala que la resolució pot variar entre 0,15 mm i 0,40 mm, això vol dir que les toleràncies reals poden tenir aquesta petita desviació després de la impressió, i per tant, se n'ha tingut en compte pel disseny. Així doncs el plàstic quedaria dilatada després de refredar-se de la injecció i els valors del disseny poden variar, en el cas de l'útil per l'imant de l'encoder el diàmetre del cilindre augmentaria i en les politges el diàmetre intern disminuiria.

En un primer moment es va sobredimensionar 0,15 mm totes les parts que requerien unes cotes específiques i es van ajustar a aquests paràmetres d'impressió al programari. Tot i això un cop enllestides les peces es va veure que les dimensions eren massa grans i no complien amb l'objectiu d'encaix amb les altres peces. Finalment se'n va fer un segon disseny, ajustant els mil·límetres que es desviaven partint de la mesura de les dimensions de les peces impreses i del disseny previ. El resultat i procés d'impressió es mostra a la Figura 43.

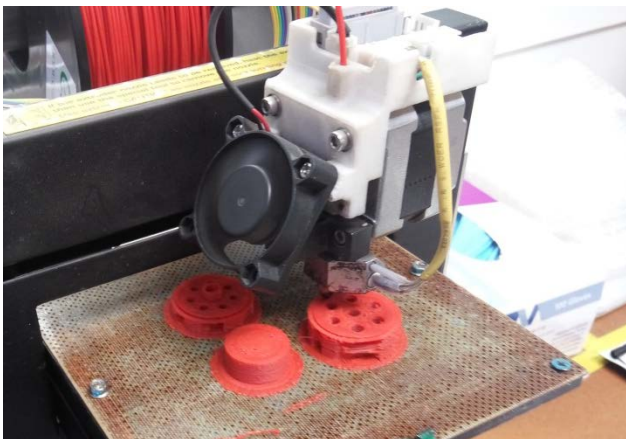


Figura 43. Procés d'impressió en 3D i les peces obtingudes. (Font: Pròpia)



### 2.3.7. Disseny de l'ascensor

El prototip d'ascensor s'ha dissenyat perquè tingui una alçada de 50 cm i una àrea aproximada estructural  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ . En el seu interior hi ha una cabina i les guies que dirigeixen el moviment ascendent o descendent. Un forat a la part superior de l'estructura deixa passar la corda que transmetrà el moviment entre la cabina i el contrapès per mitjà de dues politges. Finalment a la part lateral hi ha el contrapès que equiparà les forces de la cabina i motor. Tot el cablejat de control i el motor es disposa a la part superior de l'estructura i es controlarà informàticament.

El disseny d'aquest prototip s'ha creat prèviament amb el programa CAD Solidworks. A la vegada s'han escollit els materials reals de construcció i s'ha analitzat el correcte funcionament amb aquestes dimensions. D'altra banda per tal de veure l'evolució del disseny virtual i la construcció del model físic, s'explicaran de manera paral·lela els passos de disseny i construcció amb imatges d'ambdós casos.

El material de construcció escollit ha estat de contraxapat de fusta de diferents gruixos per l'estructura i cabina, pilars metàl·lics i de plàstic resistent, i les unions són o cargols especials per fusta o cargols amb la seva femella corresponent de M3. D'altra banda s'han creat les politges de manera personalitzada i s'han imprès amb el polímer ABS i, finalment els suports de la politja del contrapès i del motor, són de material metàl·lic.

El primer pas que s'ha dut a terme és el disseny de l'estructura. L'estructura tal i com s'ha comentat té una àrea de  $205 \times 210 \text{ mm}^2$  i una alçada de 500 mm i descansa sobre una placa de fusta que fa de base. Veure la *Figura 44*. Aquesta està formada per tres parets laterals i quatre pilars metàl·lics en forma de "L" que subjecten aquestes parets laterals. Només hi ha tres parets ja que es necessitarà analitzar el moviment de l'ascensor interior del prototip i, per tant, se n'ha de veure la cabina interior. El material tant de la base com de les parets laterals és contraxapat de pi, ja que la disposició perpendicular de les fibres de fusta que ens dona el contraxapat, augmenta la seva resistència, manté certa flexibilitat sense trencar-se fàcilment i té baix cost. Els pilars estan fets d'acer AISI 1020 que equival a l'acer F-112 de la normativa UNE. S'ha escollit aquest acer ja que es comunament utilitzat per peces estructurals que no estan sotmeses a grans esforços mecànics, però que tenen una bona tenacitat.

La subjecció d'aquestes parets a la construcció física és mitjançant cargol i femella de M3, i la fixació amb la base és amb cargols de fusta roscats a la base i amb suports en angle recta.

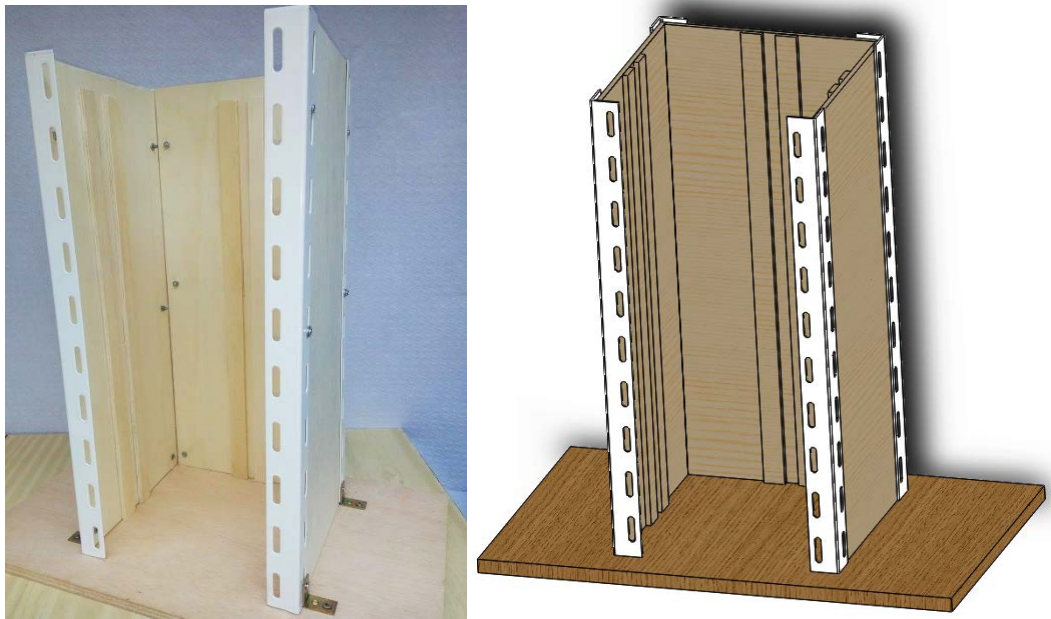


Figura 44. Construcció de l'estructura a l'esquerra i disseny virtual a la dreta. (Font: Pròpia)

Seguidament se n'ha dissenyat les guies on la cabina de l'ascensor es mourà. El guiatge del moviment està compost per un seguit de rodets a la cabina en sentit de translació vertical i unes guies a l'estructura fetes amb contraxapat de fusta. A la figura anterior ja es podien veure les guies de dalt a baix del prototip, però en la *Figura 45* es veu amb més claredat. Aquestes guies són de 20 mm d'amplada i estan separades 13 mm entre elles. A la vegada també s'observa millor les subjeccions de les parets laterals.

Així doncs pel disseny de la cabina s'ha hagut de tenir en compte la mida de les rodets i que aquestes no es comprissin, la distància entre parets i una alçada superior a l'amplada. S'ha optat pel disseny quadrat de  $150 \times 150 \text{ mm}^2$  i una alçada de 250 mm.



Figura 45. Guies pel moviment de la cabina al model construït. (Font: Pròpia)

La cabina també tindrà un lateral obert en simulació d'una porta oberta i a la vegada s'afegeixen una tapa superior i una d'inferior per tancar la cabina, veure *Figura 46*. S'ha establert l'ús de contraxapat de fusta de pi per les mateixes raons anteriors i a més a més degut a la seva baixa densitat. D'altra banda la seva unió s'ha adoptat per unes cantonades de plàstic en forma de "L" al qual la seva part interior és adhesiva. D'aquesta manera s'ha cobert les quatre cantonades per subjectar-ne les parets i tres trossos més petits a la part superior i inferior, per unir el sostre i terra de la cabina amb les parets laterals. S'ha

considerat el plàstic adhesiu com millor opció, ja que és un material poc dens, però a la vegada resistent i rígid.

Seguidament s'han enganxat amb adhesiu dues rodets als laterals i una sola rodeta a la part anterior de la cabina. Aquestes rodets estan perfectament centrades i alineades amb les seves guies corresponents. S'han fixat dues rodets als laterals (una a dalt i l'altre a baix) per mantenir un moviment rectilini uniforme ascendent o descendent i, tan sols una a la part anterior per contrarestar el possible error del centre de gravetat degut que no hi ha paret al frontal de la cabina.

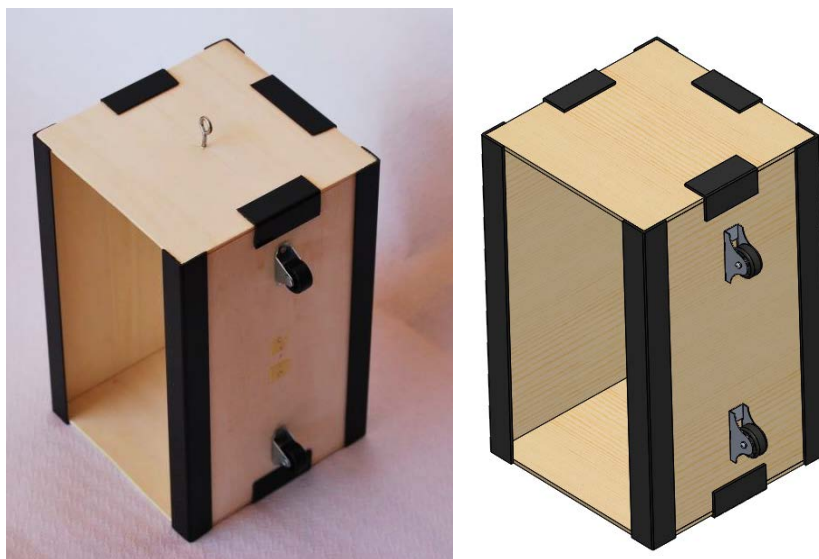


Figura 46. Model de la cabina construït a la dreta i dissenyat a l'esquerra. (Font: Pròpia)

A continuació s'afegeix la tapa superior de l'estructura amb les mateixes dimensions d'aquesta i se'n fa un forat de 10 mm de diàmetre per on sortirà la corda lligada al centre de l'ascensor. Aquesta tapa torna a ser de contraxapat de fusta per les propietats descrites anteriorment.

A la part superior de la tapa es fixarà el suport del motor amb cargols de manera que el centre del forat de la tapa sigui tangent al diàmetre interior de la politja conductora, quan s'introdueixin el motor i la politja. És a dir, que el forat ha d'estar alineat amb l'extrem de la politja perquè la corda pugi recta, veure la *Figura 47*.

D'altra banda tenim la politja del contrapès i els elements que la fixen a la part lateral. Està fixada per dos suport d'angle recta separats entre si on un eix passa través seu a certa distància de la paret i amb els seus limitadors de moviment laterals evita que pugui sortir l'eix de lloc. En el centre de la construcció se'n disposa la politja amb cert joc limitat perquè giri lliurement. Les dues politges han d'estar perfectament alineades entre si per transmetre el moviment.

Els suports de les politges estan fets d'acer AISI 1020 per la seva resistència mecànica i comunament utilitzats en aplicacions estructurals. Per contra les politges i els limitadors de l'eix estan fets de plàstic, en concret del polímer ABS, molt utilitzat en l'enginyeria per la seva poca densitat i alta resistència. Per últim l'eix està fet de l'acer AISI 1035, utilitzat en aplicacions de maquinaria i molt resistent a esforços.



Figura 47. Sistema motor de politges, construït a l'esquerra i dissenyat a la dreta. (Font: Pròpia)

Un cop explicat el disseny i materials de totes les parts del prototip de l'ascensor, tan sols falta un contrapès, que properament se'n exposarà el càlcul, i la corda que unirà cabina i contrapès passant per les politges. Així doncs el moviment vindrà propulsat pel motor, solidari a la politja motora i aquesta mourà tot el sistema passant per la translació inversa de contrapès i cabina, i la transmissió d'aquest moviment en forma de rotació per les politges. En la *Figura 48* se'n pot veure el prototip complet.

Cal tenir en compte que el contrapès d'un ascensor és vital a l'hora d'ascendir o descendir una planta. La definició de contrapès es pot dir que és un pes utilitzat per equilibrar forces.

La majoria dels ascensors tenen un contrapès amb una massa igual a la de la cabina, però també n'hi ha d'altres que afegeixen una meitat més de càrrega màxima autoritzada, d'aquesta manera el motor no ha de moure tota la massa de la cabina, sinó una fracció. Degut això, un ascensor en buit, pesa menys que el contrapès. La funció bàsica d'un contrapès és equilibrar la càrrega per facilitar el treball del motor i no forçar-lo massa movent una càrrega. Malgrat la teoria, en aquest prototip d'ascensor, les masses i la força del motor són molt petites i si s'aplica aquesta sobrecàrrega no es pot garantir el correcte funcionament d'aquest. El prototip d'ascensor no segueix tots els tecnicismes de la normativa ja que tan sols se'n vol verificar l'aplicació del motor, i és per això que al aplicar aquesta sobrecàrrega al contrapès, la corda llisca sobre la politja motora, no hi ha prou fregament entre elles. Per tal d'aconseguir un correcte funcionament del prototip, s'aplicarà l'equilibri de forces entre cabina i contrapès.

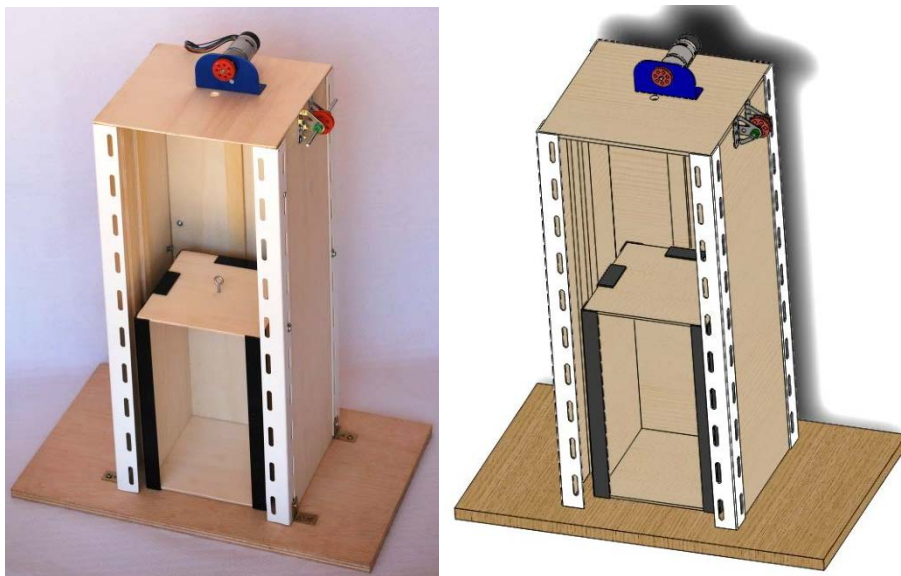


Figura 48. Prototip d'ascensor, construït a l'esquerra, dissenyat a la dreta. (Font: Pròpia)

D'altra banda, si no es considerés un contrapès, les possibilitats de que un accident succeís són realment grans, sense mencionar els desperfectes tècnics: desajustos de la velocitat, inestabilitat i inseguretat del funcionament.

Finalment s'ha realitzat un vídeo simulant el moviment del prototip d'ascensor on també es pot veure el funcionament del motor dissenyat. Es pot veure aquest vídeo en el següent enllaç: <https://youtu.be/N4UBSPEiy3M>.

## 2.4. Càlculs necessaris per a la construcció

En aquest apartat es demostren els càlculs dels fenòmens dinàmics que existeixen al model d'ascensor i dins del motor. Se'n descriuran els moviments ascendents i descendents del prototip d'ascensor, es calcularà el valor necessari del contrapès, les relacions de transmissió entre politges i finalment les relacions del tren d'engrenatges de la reductora del motor.

### 2.4.1. Càlcul del moviment de l'ascensor que utilitzarem

El moviment de rotació del motor es transforma per mitjà de les politges en moviment de translació. Els moviments ascendents i descendents de la cabina i el contrapès, venen donats per la unió d'aquest amb una corda que passa per les dues politges. Els diàmetres externs de les politges usats per la transmissió de moviment són de  $\varnothing 21$  mm el de la politja motora i  $\varnothing 22$  mm de la politja conductora.

L'ascensor més ràpid del món pot arribar a una velocitat màxima de 20,5 m/s, per tant, la velocitat màxima del prototip no pot superar aquesta velocitat per temes de seguretat dels humans. Però en aquest cas la velocitat no es tindrà en compte ja que el l'electrònica virtual usada per controlar l'encoder ja regula la velocitat, acceleració i posició exacte en cada moment. Tot i això, en cas que el motor funcione a màxima velocitat, 200 rpm segons la fitxa tècnica del motor (veure Annex A3), encara seria inferior a la màxima velocitat mundial d'un ascensor. Si s'agafa el diàmetre més gran de les politges, la conductora amb  $\varnothing 22$  mm, i la velocitat màxima s'obté que segueix sent molt més petita:

$$200 \text{ (rpm)} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R \text{ (m)}}{1 \text{ (rev)}} \cdot \frac{1 \text{ (min)}}{60 \text{ (s)}} = 200 \text{ (rpm)} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.011 \text{ (m)}}{1 \text{ (rev)}} \cdot \frac{1 \text{ (min)}}{60 \text{ (s)}} = 0.2304 \text{ m/s} \quad (\text{Eq. 16})$$

D'altra banda el contrapès es un altre punt important a un ascensor, ja que sense la seva ajuda el moviment no seria possible d'una manera eficaç. Podria passar que ascendís molt lentament i descendís molt ràpid degut a la gravetat, o el cas contrari que el contrapès fos massa pesat i que l'ascens sigues molt ràpid i el descens massa lent.

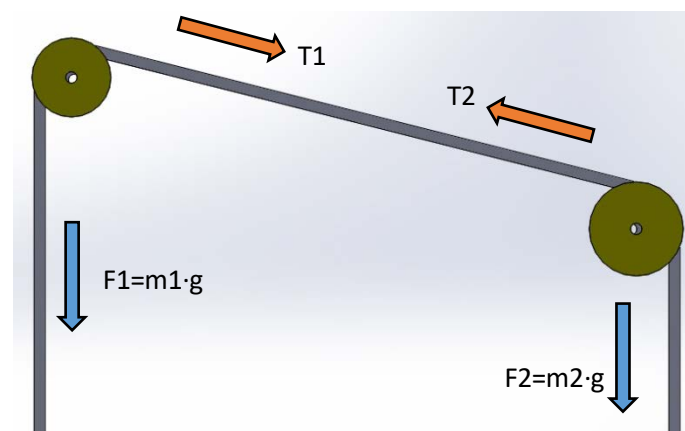


Figura 49. Esquema de forces de les politges. (Font: Pròpia)

La cabina construïda té una massa de 328g i el motor pot elevar 1.5 kg a 1cm. Per equilibrar la força de l'ascensor el contrapès hauria de tenir una massa exacte a la de la cabina. Veure la *Figura 49*. La demostració és la següent:

Es pot afirmar que la tensió del cable serà igual en les dues politges, per tant:

$$T1 = T2 \quad (\text{Eq. 17})$$

La tensió de la primera politja ha de ser igual al pes de la cabina, on la seva massa és de 328 g.

$$T1 = F1 = m1 \cdot g \quad (\text{Eq. 18})$$

Així doncs si substituïm els paràmetres de cada força dins l'equació 17, s'obté:

$$T1 = T2 \rightarrow m1 \cdot g = m2 \cdot g \rightarrow m1 = m2 \quad (\text{Eq. 19})$$

D'aquesta manera es verifica que el contrapès haurà de tenir la mateixa massa que la cabina.

D'altra banda si el motor pot elevar 1,5 Kg a 1 cm de distància, en el cas de la politja conductora de diàmetre 2,1 cm, la distància que faria per fer la força seria el seu radi, 1,05mm. Així doncs si dividim l'1,5 Kg·cm entre l'1,05 cm del radi, ens surt que el motor pot elevar una massa màxima de 1,43 Kg en el cas de l'ascensor. D'aquesta manera el motor no té cap problema a funcionar ja que ambdós masses no superarien la força màxima del motor.

#### 2.4.2. Relacions de transmissió de la reductora del motor

Per a determinar si les relacions de transmissió internes de la reductora, que s'ha dissenyat amb SolidWorks, són correctes i a la vegada iguals a les especificacions del motor, s'han calculat els paràmetres segons dades tècniques del motor, dades empíriques dels engranatges i dades geomètriques de les dents dels engranatges.

Primer de tot s'ha esquematitzat el tren d'engranatges i s'han numerat aquests. Veure la *Figura 45*. Seguidament se n'ha comptat el nombre de dents dels engranatges del motor real, ja que si no es respecten els mateixos números de dents la relació de transmissió seria totalment diferent i per tant no seria d'utilitat el càlcul.

Si es segueix mirant la *Figura 50*, se'n pot veure l'esquema a l'esquerra, amb els engranatges separats i quins comparteixen la mateixa velocitat de rotació, i per tant el mateix eix. A la dreta de la figura es



veu la disposició real del tren d'engranatges reproduït amb SolidWorks. Cada franja de color de l'engranatge (vermell, taronges, verds, blaus i groc) simbolitza un mateix eix de gir i per tant igual velocitat angular. L'engranatge motor o conductor, el que transmet el primer gir perquè el sistema es mogui, és l'engranatge 1, solidari amb l'eix del rotor, i la resta transmeten el moviment. La transmissió va de la roda dentada 1 a la 2, la 2 i 3 tenen la mateixa velocitat angular, de la 3 a la 4, de la 5 a la 6 i finalment de la 7 a la 8. Aquest tren d'engranatges conclou amb la reducció de la velocitat de l'eix extern, ja que en cada parell d'engranatges la roda dentada motora és la de diàmetre petit i la conduïda la del diàmetre gran.

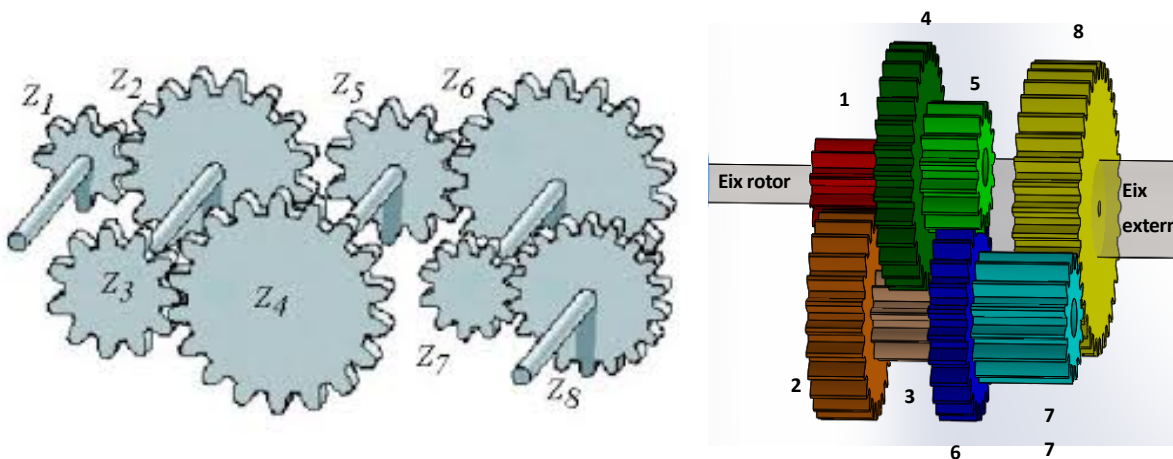


Figura 50. A l'esquerra es pot veure l'esquema del tren d'engranatges, i a la reproducció amb Solidworks . (Font: [esquerra] <https://goo.gl/G4phBm>; [dreta] Pròpia amb Solidworks).

Per tal de verificar que el disseny sigui efectiu i a la vegada els engranatges puguin engranar entre si, s'ha marcat que mòdul sigui de 0,4 i l'angle de pressió sigui de  $20^\circ$ . Així doncs se sap el nombre de dents de cada engranatge, el mòdul i angle de pressió, i es pot obtenir el diàmetre primitiu amb l'equació 13 i el pas circular amb l'equació 9, vistos en l'apartat 2.2.5.2. A la taula següent, *Taula 5*, se'n poden veure els resultats dels paràmetres dits. El pas circular ha de ser el mateix en tots els engranatges ja que en cas contrari no engranarien entre si.



Taula 5. Especificacions geomètriques dels engranatges

| Engranatge        | Z [dents] | $\alpha$ (°)<br>[angle de pressió] | m [mòdul] | D (mm)<br>[Diàmetre primitiu] | p (mm)<br>[pas] |
|-------------------|-----------|------------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------------|
| 1<br>(eix rotor)  | 10        | 20                                 | 0,4       | 4                             | 1,257           |
| 2                 | 25        |                                    |           | 10                            |                 |
| 3                 | 10        |                                    |           | 4                             |                 |
| 4                 | 30        |                                    |           | 12                            |                 |
| 5                 | 15        |                                    |           | 6                             |                 |
| 6                 | 25        |                                    |           | 10                            |                 |
| 7                 | 15        |                                    |           | 6                             |                 |
| 8<br>(eix extern) | 36        |                                    |           | 14,4                          |                 |

Un cop sabent els paràmetres geomètrics principals del tren d'engranatges, es calcularà la velocitat angular sabent que la energia mecànica s'ha de mantenir, tal com descriu la llei de la conservació de l'energia, "L'energia ni es crea ni es destrueix, es transforma".

Les especificacions del motor, veure annex A3, diu que la velocitat de rotació màxima en l'eix de sortida és de 200 rpm i que la seva potència màxima és de 4,22 W al mateix eix. S'ha escollit la potència màxima ja que tot i saber la velocitat angular nominal, no se sabia la càrrega usada per aquest càlcul. Les característiques del motor també diu que la relació de transmissió és de 30:1, és a dir, per cada 30 voltes que faci el rotor, l'eix extern en farà una.

Així doncs per calcular la velocitat angular s'usarà l'equació 11 i d'altra banda verificarem la relació de transmissió entre engranatges i de la reductora de velocitat en general per mitjà de l'equació 12, i del producte entre les relacions de transmissió entre engranatges en contacte. Les especificacions del motor estan destacades en taronja. Veure la Taula 6.

Taula 6. Paràmetres del moviment del tren d'engranatges

| Engranatge  | Z [dents] | D (mm)<br>[Diàmetre primitiu] | $\omega$ (rpm)<br>[velocitat angular màxima] | P (W)<br>[potència màxima] | $i_e$<br>[Relació de transmissió entre engranatges] |
|---|-----------|-------------------------------|--|----------------------------|---|
| 1<br>(eix rotor)  | 10        | 4                             | 6000   | 4,22                       | 2,5   |
| 2   | 25        | 10                            | 2400   |                            | 3   |
| 3   | 10        | 4                             | 2400   |                            |   |
| 4   | 30        | 12                            | 800  |                            |   |
| 5   | 15        | 6                             | 800  |                            | 1,6667  |
| 6   | 25        | 10                            | 480  |                            |   |
| 7   | 15        | 6                             | 480  | 4,22                       | 2,4   |
| 8<br>(eix extern)   | 36        | 14,4                          | 200  |                            |   |
| $i_t$ [Relació de transmissió entre $\omega$ final i inicial] |           |                               | 30   | $i_p$ [Producte de $i_e$ ] | 30  |

En la següent *Taula 7*, es poden veure els paràmetres mecànics del contacte entre engranatges, on les especificacions del motor estan marcades amb taronja. Es comença calculant el parell motor de l'eix extern segons l'equació 7, que depèn de la velocitat d'aquest eix i de la potència que es manté igual. Es calculen la resta de parells motors de la mateixa manera, i seguidament es calcula la força tangencial i nominal segons les equacions 14 i 15, respectivament. La força tangencial és la força útil de transmissió de potència, mentre que la força nominal es residual deguda a l'angle de pressió de la dent, en aquest cas  $20^\circ$ . A la vegada podem veure l'augment progressiu d'aquests paràmetres i que la seva relació de transmissió segueix sent de 30.

Taula 7. Paràmetres mecànics del tren d'engranatges

| Engranatge  | $\omega$ (rpm)<br>[velocitat angular<br>màxima] | P (W)<br>[potència<br>màxima] | $\tau$ (N·m)<br>[Parell motor<br>màxim] | Ft (N)<br>[Força<br>tangencial] | Fn (N)<br>[Força<br>nominal] |
|---|---|-------------------------------|---|---------------------------------|------------------------------|
| 1<br>(eix rotor)  | 6000  | 4,22                          | 0,0067                                  | 3,36                            | 1,22                         |
| 2   | 2400  |                               | 0,0168                                  | 3,36                            | 1,22                         |
| 3   | 2400  |                               | 0,0168                                  | 8,40                            | 3,06                         |
| 4   | 800   |                               | 0,0504                                  | 8,40                            | 3,06                         |
| 5   | 800   |                               | 0,0504                                  | 16,79                           | 6,11                         |
| 6   | 480   |                               | 0,0840                                  | 16,79                           | 6,11                         |
| 7   | 480   |                               | 0,0840                                  | 27,98                           | 10,19                        |
| 8<br>(eix extern)                                       | 200   | 4,22                          | 0,2015                                  | 27,98                           | 10,19                        |
| i [Relació de transmissió entre $\tau$ final i inicial] |   |                               | 30                                      |                                 |                              |

Es pot concloure que reduint la velocitat mitjançant un tren d'engrenatges el parell motor augmentarà la mateixa proporció que la disminució de velocitat. En aquest cas la relació de transmissió es de 30, això vol dir que la velocitat es reduirà 30 vegades la inicial, però el parell motor final augmentarà 30 vegades el que tenia.

Ahora s'ha demostrat que la relació de transmissió reproduïda virtualment amb SolidWorks transmet la mateixa energia mecànica que el model real, ja que adoptant les velocitats del motor físic aconseguim la mateixa reducció de velocitat a la realitat que amb el model virtual.

## 2.5. Programació i control informàtic del motor

Per tal de transmetre la informació de l'encoder del motor a l'ordinador i controlar-lo mitjançant un software electrònic, primer el senyal ha de passar per diferents components.

Els senyals de l'encoder, es transmeten des d'aquest cap a una circuit electrònic de tipus pont en H, després es connecten en el mode I2C al microprocessador d'Arduino. Des del microprocessador un cable USB transmet el senyal a l'ordinador. Per llegir aquest senyal cal executar un codi al software d'Arduino que fa d'enllaç amb el programa electrònic LabVIEW. En aquest programa es construirà un sistema electrònic format per diagrames, al qual ens permetrà controlar l'encoder i en conseqüència el motor i prototip d'ascensor. Per retornar el senyal a l'encoder, la informació es transmetrà pels mateixos dispositius però en sentit contrari.

Aquest sistema de comunicació i transmissió del senyal és un sistema electrònic de llaç tancat, per tant, el control del motor sap en tot moment l'acció que s'està duent a terme gràcies a la informació que s'envia de la retroalimentació.

En els següents apartats s'explicarà amb detall el procés que passa el senyal i les especificacions necessàries adoptades per la realització d'aquest treball.

### 2.5.1. Placa controladora de doble sentit del motor.

El motor es connectarà en els seus 6 borns de sortida a la placa controladora de doble sentit, en aquest cas la placa MD25. Tan la placa com el motor tenen el mateix nombre de borns i els mateixos borns, per una connexió correcta consultar les fitxes tècniques d'ambdós dispositius a l'Annex A9 i A3.

La placa MD25 és un circuit de tipus pont en H capaç de controlar els dos sentits de dos motor de corrent continua de fins a 2,8 Amperes (A) i 12 Volts (V). El circuit es controla externament mitjançant un bus sèrie o mitjançant un bus I2C, el qual permet la seva comunicació amb qualsevol microcontrolador modern. El circuit compta amb nombrosos registres per poder controlar l'acceleració, la velocitat, la corrent de cada motor i els comptadors dels encoders de cada motor.

En d'aquest projecte el muntatge serà d'un sol motor de 12 V i 2,5 A, connectat al microprocessador amb un bus I2C, per tal de controlar els dos sentits de gir del motor, al igual que acceleració, velocitat i posició.

### 2.5.1.1. Circuit de pont en H

Un circuit de **pont H** de transistors, on el nom sorgeix de la disposició dels transistors ja que recorda una lletra *H*, és el més usat per al control de motors de CC degut a la possibilitat d'invertir el sentit de gir del motor si fos necessari.

La disposició d'aquest el podem veure a la figura següent, veure *Figura 51*. Així doncs, aquest és el circuit típic d'un circuit de pont H, on hi ha el pont H envoltat per quatre transistors (Q2, Q3, Q4 i Q5), quatre díodes interiors i quatre resistències elèctriques tan sols per protegir el circuit, una font d'alimentació i terra, i finalment dos transistors més (Q1 i Q6) per on s'enviaran el senyal de gir. Val a dir que un transistor és un component elèctric que tan sols s'activa si rep corrent de dues bandes diferents, al activar-se deixa passar la corrent.

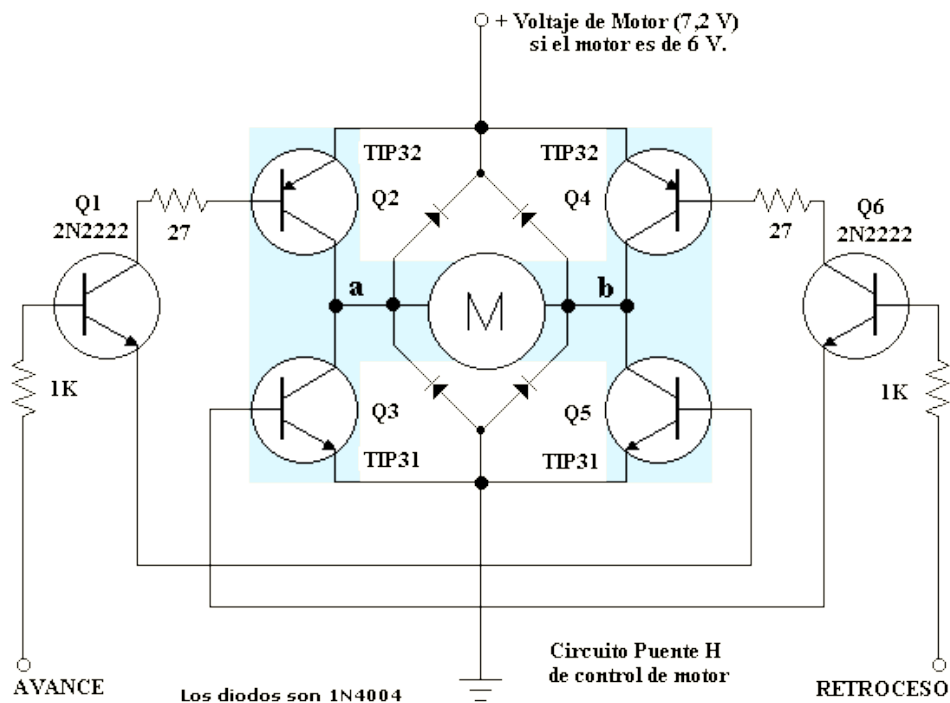


Figura 51. Circuit electrònic de pont en H. (Font: [http://robots-argentina.com.ar/MotorCC\\_PuenteH.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_PuenteH.htm))

El funcionament d'aquest sistema es pot veure en la *Figura 52*. Quan s'aplica un senyal positiu en l'entrada marcada "AVANCE" s'activa el transistor Q1. La corrent de Q1 circula per les bases, de Q2 i Q5, fent que el terminal "a" del motor sigui positiu i el terminal "b" negatiu (terra). D'altra banda, si s'aplica un senyal positiu en l'entrada "RETROCESO" s'activa el transistor Q6 i aquest emet corrent a les bases de Q3 i Q4. En aquest cas el terminal "a" del motor és negatiu (terra) i el terminal "b" positiu.

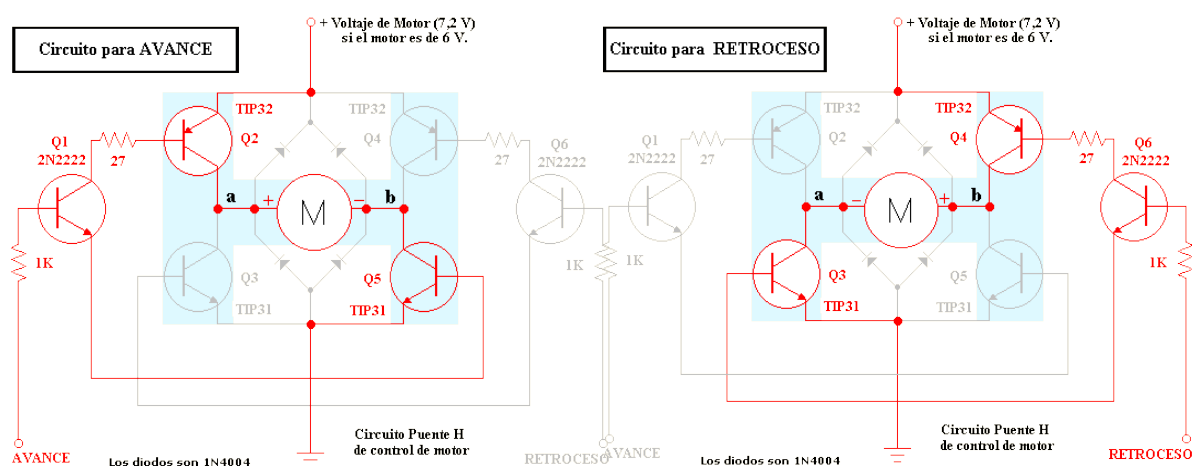


Figura 52. Funcionament d'un circuit electrònic de pont en H. (Font: [http://robots-argentina.com.ar/MotorCC\\_PuenteH.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_PuenteH.htm))

## 2.5.2. Connexió entre la placa i microprocessador

La connexió entre el microcontrolador (MD25) i el microprocessador (Arduino UNO) serà una connexió bus I2C i les connexions es faran sobre una taula protoboard amb cables.

El bus I2C, és una connexió estàndard que facilita la comunicació entre microcontroladors i microprocessadors, aquesta tan sols requereix dues línies de senyal i una de terra.

La metodologia de comunicació de dades de bus I2C és en sèrie i sincrònica . Una de les senyals del bus marca el temps (polsos de rellotge), l'altre s'utilitza per intercanviar dades i l'última és la massa. S'identifiquen els tres senyals segons les següents expressions:

- **SCL** (System Clock), és la línia de polsos de rellotge que sincronitzen el sistema.
- **SDA** (System Data), és la línia per la que es mouen les dades.
- **GND** (Ground), és el comú entre la interacció entre tots els dispositius connectats al bus.

En el cas d'aquest treball les connexions entre microcontrolador i microprocessador es poden veure en la Figura 53. En aquest cas s'han afegit resistències elèctriques per tal de protegir el circuit de sobretensions. El cablejat groc indica la connexió de SDA, el cablejat verd blavós indica el SCL, els cables en negre són terra i els cables vermells són font d'alimentació (5V des del microprocessador, 12V al microcontrolador).

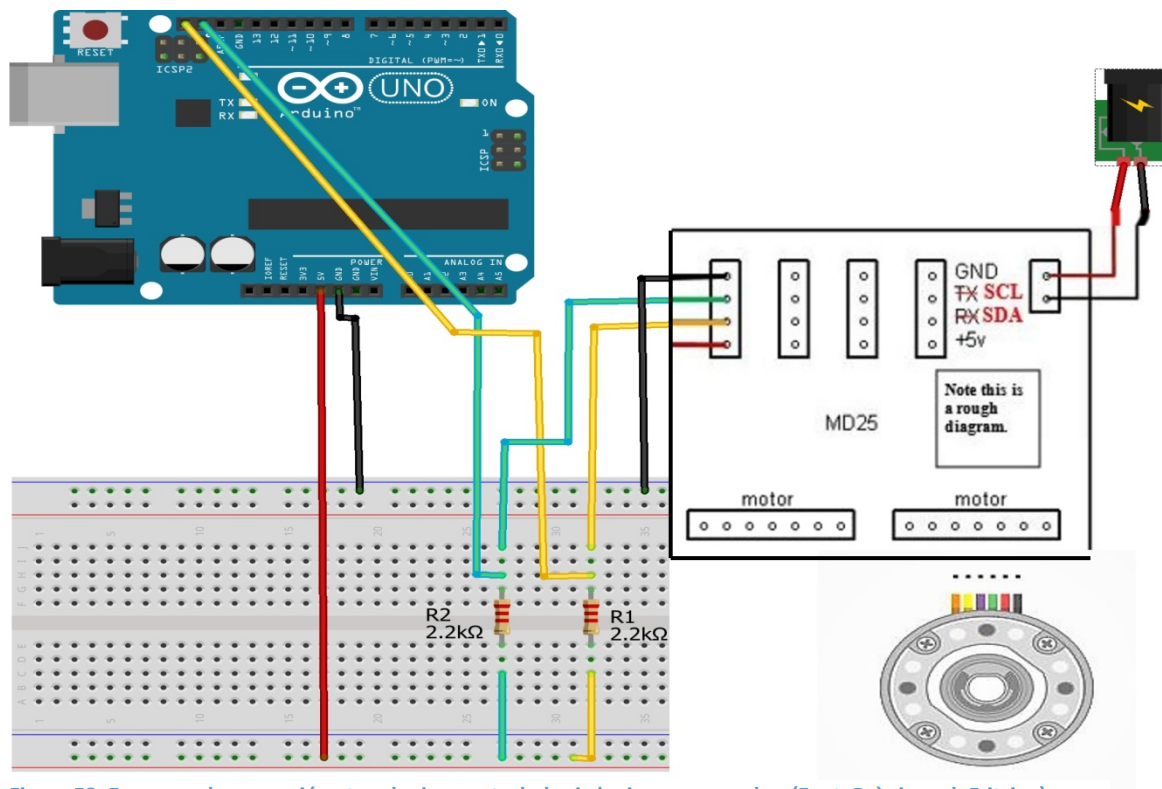


Figura 53. Esquema de connexió entre el microcontrolador i el microprocessador. (Font: Pròpia amb Fritzing)

Així doncs al connectar d'aquesta manera queda un sistema cablejat de comunicació, com es pot veure a la Figura 54. En el cas de les fonts d'alimentació hi ha un porta piles amb 8 bateries d'1,5 V, per tant, 12V i, l'alimentació del microprocessador ve donada per l'ordinador. D'aquest conjunt d'elements en direm interfície, ja que són els components que reben senyals informàtics i els transformen en senyals que esdevenen moviment.

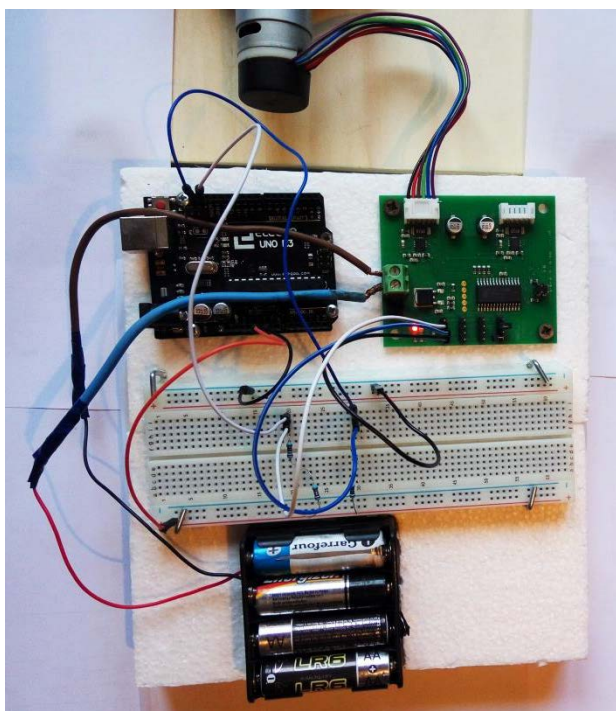


Figura 54. Connexió real entre el microprocessador i el microcontrolador. (Font: Pròpia)

### 2.5.3. Transmissió d'informació entre softwares

Un cop el microprocessador es connecta amb l'ordinador via un cable USB, la informació arriba a l'ordinador però d'aquí s'ha d'interpretar. L'objectiu que es busca es que el programa LabVIEW controli directament el moviment del motor, però per aconseguir-ho la informació s'ha de transmetre del software de l'Arduino al LabVIEW.

Per aconseguir aquesta connexió s'ha usat una interfície entre aquests dos softwares, creada per *National Instruments* al qual s'anomena *LIFA* (LabVIEW Interface for Arduino). El LIFA és una eina de descàrrega gratuïta que transforma la informació provinent del microprocessador de l'Arduino i la processa en la programació gràfica del LabVIEW.

Perquè s'estableixi la comunicació entre aquests dos programes cal executar primerament un codi, establert per LIFA, al software de l'Arduino i, d'altra banda, des de LabVIEW cal cridar el senyal de l'Arduino i retornar-lo altre cop. Això es possible gràcies a un diagrama d'entrada i un de sortida dins la finestra de diagrama de blocs. Es pot veure el codi executat a Arduino a l'Annex A1.

Finalment en aquest cas ha calgut indicar un altre diagrama de bloc per determinar el tipus de connexió establerta del cablejat, al qual és bus I2C.

### 2.5.4. Control del sistema per LabVIEW

Per determinar el control del motor s'ha hagut de crear un sistema de blocs a la finestra de diagrama de blocs i un panell de comandament a la finestra de panell frontal.

En la finestra de diagrama de blocs es crea un codi usant representacions gràfiques de les funcions per controlar objectes del panell frontal. La finestra del diagrama de blocs conté aquest codi en forma gràfica. D'altra banda, el panell frontal és la interfície de l'usuari, és a dir, és el sistema de control del senyal i on l'usuari pot veure els resultats i modificar-ne les dades.

Així doncs s'ha creat primer el diagrama gràfic de blocs per determinar la funció desitjada a resoldre. Per veure'n la disposició d'aquest, mirar a l'Annex A2.

Primerament en aquesta finestra s'ha creat l'entrada i sortida d'informació amb l'Arduino i s'ha establert que la connexió és I2C, igual que la seva lectura.

S'ha creat un cicle tancat i s'han disposat tots els blocs gràfics següents a l'interior, on voldrà dir que mentre la informació arribi de l'Arduino es duran a terme aquestes funcions. Així doncs aquest cicle conté la lectura de la connexió I2C, per tant, la lectura de l'encoder. Seguidament se n'extreu la informació i es crea una funció per determinar la posició real d'aquest, on aquesta funció depèn de la



informació extreta de la fitxa tècnica de la placa MD25, es troba a l'Annex A9. Val a dir que aquesta funció té en compte la correcció de l'error i mostra la posició real amb un 2% d'error

Paral·lelament a aquesta funció n'hi ha una altra que determina la velocitat de gir segons la posició exacte que es demani moure el motor. Aquesta funció també té en compte l'error de la posició, que és l'encarregat de verificar si la posició desitjada és igual a la posició real o obtinguda. En aquest cas la consigna de l'error és ajustable, és a dir, que determina que hi ha menys error però major temps d'assolir la posició o més error però s'arriba més ràpidament a la posició desitjada. D'aquesta funció se n'obté dues sortides, la velocitat de gir i l'error del sistema.

Seguidament se'n grafica el valor de consigna on es vol arribar, la posició real que s'assoleix i l'error del sistema. Amb aquests valors aconseguim veure si la posició aconseguida és la desitjada.

Finalment es retorna el valor de la velocitat a un bloc gràfic que ho transformarà en un senyal capaç de llegir-se en el bus I2C i es tanca el sistema enviant la informació al sistema. A la vegada s'ha afegit un botó de parada d'emergència del sistema amb el nom de "STOP".

D'altra banda en la finestra de panell frontal hi ha el control de comandaments. En aquest se'n poden veure diversos indicadors i controladors, tan en formats numèrics, com amb agulles, barres mètriques o gràfiques.

Si es mira la *Figura 55*, es poden veure diferents controls separats en rectangles. Si ens fixem en el primer situat a la part esquerra superior hi ha una agulla regulable amb l'angle desitjat en que es vol girar el sistema i, a la vegada, un indicador numèric per escriure la consigna o posició exacte en que es vol assolir, ambdós fan la mateixa funció. En el requadre superior dret són dos indicadors numèrics de lectura en que mostren la posició real assolida i la velocitat en que s'ha girat. Si es segueix per la part inferior esquerra es poden veure diversos botons, en el de dalt de tot se'n mostra la lectura que experimenta l'encoder en temps real, en la següent se'n pot regular el factor d'error o controlador de guany, per tenir un error major o menor i una resposta més ràpida o lenta, i finalment, hi ha el botó de la parada d'emergència.

En aquest mateixa figura també se'n pot veure la gràfica, probablement la part més intuïtiva del procés. En ella s'identifiquen la posició real en blau, l'error del sistema en vermell i la consigna en verd. Si s'analitza una mica més profundament, a la gràfica es pot veure que just en un instant anterior l'ha consigna ha sigut canviada a 340 graus. A la vegada l'error s'ha vist modificat i el motor ha començat a girar per assolir la posició desitjada. Un cop el valor de la posició real assoleix la consigna, l'error també s'estabilitza. Cal recordar que el valor de consigna i posició real no són iguals, 340 i 336 graus, respectivament, ja que la posició real té un percentatge de desviació d'un 2%.

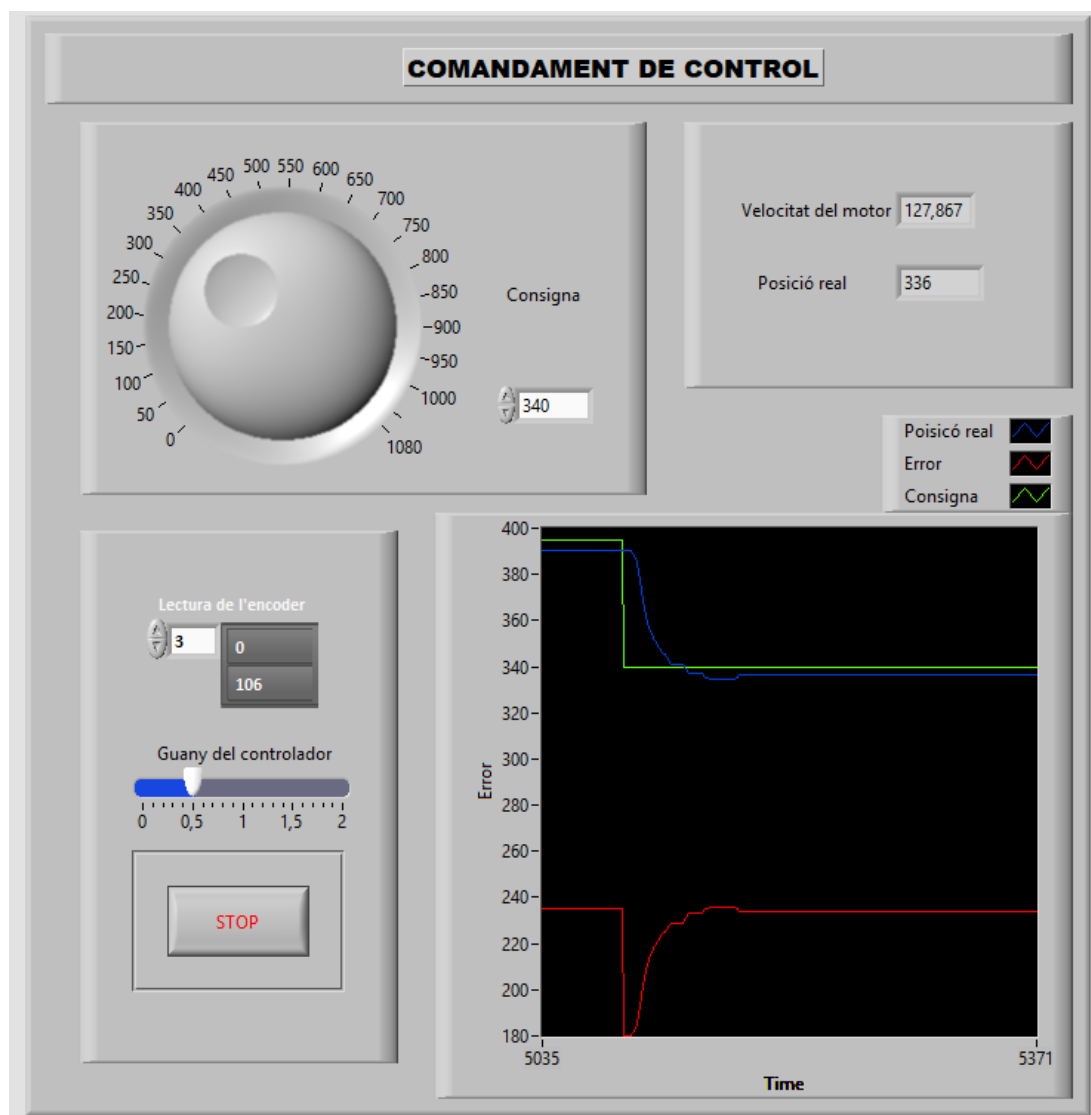


Figura 55. Control de comandaments del sistema. (Font: Pròpia amb LabVIEW)

Per últim s'ha realitzat un vídeo sobre el funcionament continuat d'aquest sistema de control i el moviment que transmet al prototip del motor. Per mitjà d'un vídeo de pantalla dividida se'n pot veure el control i funcionament real. En el següent enllaç redirecciona al vídeo: [https://youtu.be/XFFKYLF\\_ER0](https://youtu.be/XFFKYLF_ER0).

### 3. Anàlisi de l'impacte ambiental

Per definició un estudi d'impacte ambiental és un document tècnic, objectiu i de caràcter interdisciplinari elaborat per a predir les conseqüències per al medi ambient a causa de l'execució d'un determinat projecte. Alhora, també ha d'incloure quines serien les mesures a prendre per intentar reduir-lo.

Pel tipus de projecte desenvolupat, l'impacte ambiental depèn de la construcció del prototip i de l'ús de l'ordinador emparat per crear virtualment i controlar físicament el motor. Per a la construcció del treball s'han emprat peces reutilitzades de mecanismes anteriors, n'és un exemple el sistema de suport de la politja conductora, o les unions per fixar el prototip. D'altra banda s'han usat materials no contaminants o reactius, com per exemple les guies, on les rodets són de plàstic en comptes d'un sistema amb olis o greixos antifricció.

D'aquesta manera es pot dir que l'energia usada per el funcionament d'aquest sistema és bàsicament elèctrica. Per la creació d'aquest sistema s'ha utilitzat en tot moment l'ordinador i una quarta part del temps una font d'alimentació de 12 V a 2,5 A. L'ordinador portàtil té una potència de 65 W.

- Segons la quantitat d'hores d'utilització de l'ordinador, 240h corresponents al TFG, suposant que tot i ser un ordinador amb una determinada independència de bateria, s'ha tingut endollat al corrent en tot moment. Es comptabilitza que l'energia total en kWh es calcula com:

$$E = P_{cons} \cdot h_{funcionament} = 65W \cdot 240h = 15600 Wh = 15,6 kWh \quad (\text{Eq. 20})$$

- Pel mateix motiu l'energia usada per la font d'alimentació es calcula en kWh a la següent expressió:

$$\begin{aligned} E &= P_{cons} \cdot h_{funcionament} = V \cdot I \cdot h_{funcionament} = \\ &= 12V \cdot 2,5A \cdot 60h = 1800 Wh = 1,8 kWh \end{aligned} \quad (\text{Eq. 21})$$

L'energia usada per aquest treball és la suma de les dues energies, 17,4 kWh. Segons l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, el factor d'emissió associat a l'energia elèctrica és el mix elèctric, ME. Aquest és el valor que expressa les emissions de CO<sub>2</sub> associades a la generació de l'electricitat que es consumeix, convertint-se així en un indicador de les fonts energètiques que s'utilitzen per produir electricitat. El valor del mix de la xarxa elèctrica peninsular de l'any 2016, és de 308g CO<sub>2</sub>/kWh. A partir d'aquesta dada i sabent el consum total segons les hores de consum, es pot calcular la quantitat de CO<sub>2</sub> alliberat. Obtenint que:

$$mCO_2 = ME \cdot E_{cons} = 308g \frac{CO_2}{kWh} \cdot 17,4kWh = 5359,2 g CO_2 \quad (\text{Eq. 22})$$

D'altra banda, hi ha una millora econòmica en el manteniment del sistema, ja que el sistema proposat tan sols s'ha de revisar el motor i encoder, les interfícies corresponents, un ordinador i una font d'alimentació; mentre que en un sistema convencional de control d'un motor, s'ha d'afegir el manteniment del control electrònic. Si afegim que la revisió d'un sistema cablejat pot ser molt més costosa en temps que un sistema informatitzat i que els recanvis són molt menys fàcils de trobar, això implicarà una despesa econòmica major i més contaminant. En canvi amb el sistema proposat l'operari que ha de fer el manteniment no cal que sigui presencial, ja que el programa informàtic conté tota la informació de control i es pot consultar virtualment.

Els costos extres anuals en el cas d'un control convencional del motor correspondrien al manteniment anual del sistema, possibles costos en reparacions anuals i energia necessitada. Seguidament se'n mostren els càlculs de l'energia usada en un any, el càlcul del cost elèctric segons el preu real mig de l'electricitat i els costos extres totals d'un sistema convencional, respecte el sistema de control proposat.

$$\begin{aligned} E &= P_{cons} \cdot h_{funcionament} = V \cdot I \cdot Dia_{lab} \cdot h_{lab} = 24V \cdot 5A \cdot 230_{dies lab} \cdot 8 h_{lab} = 220800 Wh \\ &= 220,8 kWh/anual \end{aligned} \quad (\text{Eq. 23})$$

$$C_{energia} = PR_{mig} \cdot E_{cons} = 0.11499 \frac{eur}{kWh} \cdot 220,8 kWh = 25,39 eur \quad (\text{Eq. 24})$$

$$C_{total} = C_{mant} + C_{rep} + C_{energia} = 120 \text{ eur} + C_{rep} + 25,39 \text{ eur} = 145,39 + imprevistos \left( \frac{\text{eur}}{\text{any}} \right) \quad (\text{Eq. 25})$$

Aquest seria el cost extra del manteniment del control i la seva emissió extra de CO<sub>2</sub> vindria donada per l'energia extra consumida anualment i el desplaçament de l'operari. Com que no sabem la distància en que es pot trobar l'operari, tan sols es calcularà la seva emissió extra anual de CO<sub>2</sub> degut a l'electricitat. Aquest és:

$$mCO_2 = ME \cdot E_{cons} = 308g \frac{CO_2}{kWh} \cdot 220,8 kWh = 68006,4 \frac{g CO_2}{any} + Desplaçament \quad (\text{Eq. 26})$$

Pel que fa referència a les mesures de reducció d'emissions, es recomana un manteniment informatitzat no presencial, on un operari pugui accedir al sistema de control virtual en cas d'algun problema. D'aquesta s'estalvia l'emissió de combustibles fòssils o consum elèctric del transport.



## 4. Conclusions

Aquest treball de fi de grau tenia com a finalitat estudiar i demostrar que un sistema controlat per un encoder magnètic és un sistema fiable per controlar un motor. D'aquesta manera es verifica que un control més informatitzat d'un motor pot ser fins i tot millor.

Per argumentar aquestes millores, primer se n'ha hagut de consolidar el procés del funcionament d'un encoder i de l'encoder utilitzat, establir el disseny del motor i del prototip d'ascensor, amb la seva corresponent selecció de materials, i finalment, s'ha creat un programa informàtic capaç de controlar la velocitat i posició exacte del motor.

Així doncs aquest nou sistema de control del motor que s'ha estudiat, suposa un avanç en la reducció en sistemes de control per electrònica d'un motor ja que tota la informació de control i execució està informatitzada. A la vegada això comporta una disminució de la contaminació i menys despesa econòmica de manteniment, tal com es demostra a l'*apartat 3. Anàlisi de l'impacte ambiental*.

D'altra banda s'ha dissenyat un programa base per on controlar un motor i d'on poder partir en possibles futures millores. Però tant el programa, com l'estudi dels materials magnètics del motor i l'estudi mecànic realitzat del motor, són aportacions personals a la tecnologia i de possible estudi o futur material de consulta.

Finalment, podem establir possibles millores futures del treball, sobretot de cara a l'aplicació del control del motor. Se'n podria normalitzar un ascensor a mides de prototip o reals, dissenyar un possible ascensor real o fins i tot aplicar aquest sistema de control establert a altres aplicacions on es necessiti una acurada precisió. Totes aquestes millores no s'han pogut dur a terme degut a que les hores dedicades al treball ja eren superiors a les hores establertes de dedicació total i, a la vegada, qualsevol d'aquestes solucions implicava un estudi a fons del tema en qüestió i que possiblement podria ser un altre TFG sencer.





## 5. Bibliografia

- Aivaliotis, Michael. 2017. "Getting Started With the LabVIEW Interface for Arduino — VI Shots." Accessed August 3. <http://vishots.com/getting-started-with-the-labview-interface-for-arduino/>.
- Anaheim Automation. 2017. "Encoders | Optical and Magnetic, Incremental and Rotary." Accessed May 1. <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/encoder-guide.php#sthash.SC9KkKxV.sOWex7bL.dpbs>.
- Avello, Alejo. 2017. "Engranajes Cilíndricos Rectos." *Tecnun (Universidad de Navarra)*. Accessed May 20. <http://www1.ceit.es/asignaturas/TeorMaq1/Apuntes/Cap5.pdf>.
- Carletti, Eduardo J. 2017. "Puente H - Robots Argentina." Accessed September 2. [http://robots-argentina.com.ar/MotorCC\\_PuenteH.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_PuenteH.htm).
- Cía. General de Aceros. 2015. "Ficha Técnica Acero AISI / SAE: 1020 - AISI / SAE: 1045." <http://www.cga.com.co/productos-y-servicios/productos/aceros-al-carbono>.
- Cía. General de Aceros, Norma AISI, José Manuel, Ruiz Gutiérrez, Distribuidor A Oficial SELFOIL, Instituto Nacional de tecnología Industrial / INTI Córdoba, and Rafael Taberner Rosaleny. 2015. "Generalidades Sobre Imanes Permanentes Y Su Caracterización," 1–2.
- Claudio, Pellini. 2017. "Principios Físicos Del Funcionamiento de Un Motor Eléctrico." Accessed June 7. [https://historiaybiografias.com/motor\\_electrico/](https://historiaybiografias.com/motor_electrico/).
- "Control de Un Motor Con LabVIEW." 2017. Accessed August 3. <https://www.youtube.com/watch?v=bDg1NpVupo8&t=298s>.
- Cortès, Javier. 2017. "Reductora. Caja de Engranajes." Accessed May 20. <http://tecnologiasces.webnode.es/tecno2/practicas/reductora-caja-de-engranajes/>.
- Diego, Roberto de. 2017. "Tabla de Aceros." Accessed July 12. [http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/tabla\\_1.htm](http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/tabla_1.htm).
- Eitel, Elisabeth. 2017. "Basics of Rotary Encoders: Overview and New Technologies." Accessed July 4. <http://www.machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0>.
- "ENCODER -GLOSSARY OF TERMS." 2017. Accessed June 20. [https://www.dynapar.com/uploadedFiles/Downloads/Encoder\\_Glossary\\_of\\_Terminology.pdf](https://www.dynapar.com/uploadedFiles/Downloads/Encoder_Glossary_of_Terminology.pdf).
- Encoder Products Company. 2017. "¿Qué Es Un Encoder?" Accessed May 12. <http://encoder.com/blog/encoder-basics/que-es-un-encoder/>.
- "Encoders." 2017. Accessed May 15. [http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/0306\\_conceptual\\_design/Docs/05\\_Encoders/encoder\\_primer.pdf](http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/0306_conceptual_design/Docs/05_Encoders/encoder_primer.pdf).
- FISICALAB. 2017. "Ley de Lorentz | Fisicalab." Accessed May 24. <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz#contenidos>.

- Henry's Bench. 2017. "KY-040 Arduino Tutorial, Schematics and More. | Henry's Bench." Accessed July 20. <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/keyes-ky-040-arduino-rotary-encoder-user-manual/>.
- Hernández, César. 2017. "Motores Eléctricos." Accessed May 28. <https://www.infootec.net/motores-electricos-de-induccion/>.
- Huarayo, Daniel Cristian Negretty. 2017. "ENCODER MECÁNICO." Accessed May 6. <https://www.scribd.com/document/162292727/ENCODER-MECANICO-DE-UN-MAUSE>.
- Ingeniería Magnética Aplicada. 2017. "IMA: Fabrica de Imanes Y Aplicaciones Magnéticas." Accessed June 20. <https://www.ima.es/>.
- ingeniería RURAL. 2017. "Las Mediciones Y El Presupuesto." Accessed July 2. [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/AsignaturaProyectos/Tema 8.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos/Tema 8.pdf).
- Instituto Nacional de tecnología Industrial / INTI Córdoba. 2008. *Generalidades Sobre Imanes Permanentes Y Su Caracterización*.
- IPARGAMA. 2006. "Aceros Especiales. Cuadro de Calidades," 10025.
- Jorge. 2017. "Conexión Controladora MD-25." Accessed September 3. <https://paletosdelaelectronica.wordpress.com/2014/11/29/controladora-md-25/>.
- LearnEngineering. 2017. "Brushless DC Motor, How It Works?" Accessed July 10. <http://www.learnengineering.org/2014/10/Brushless-DC-motor.html>.
- Manuel, José, and Ruiz Gutiérrez. n.d. "Utilización de Labview Para La Visualización y Control de La Plataforma Open Hardware Arduino."
- MICRO MOTION SOLUTIONS. 2017a. "Basic Feedback Guide." Accessed June 22. [https://www.micromo.com/media/wysiwyg/Technical-library/Encoders/Encoder\\_Feedback\\_Selection\\_2\\_WP.pdf](https://www.micromo.com/media/wysiwyg/Technical-library/Encoders/Encoder_Feedback_Selection_2_WP.pdf).
- MICRO MOTION SOLUTIONS. 2017b. "Basic Guide: How Feedback Encoder Devices Operate | MICROMO." Accessed June 25. <https://www.micromo.com/technical-library/encoder-tutorials/basic-guide-how-feedback-encoder-devices-operate>.
- Miller, Jim. 2017. "Understanding Incremental Encoder Signals | EEWeb Community." Accessed June 3. [https://www.eeweb.com/blog/jim\\_miller/understanding-incremental-encoder-signals](https://www.eeweb.com/blog/jim_miller/understanding-incremental-encoder-signals).
- Monari, Giovanna. 2017. "Understanding Resolution In Optical And Magnetic Encoders." Accessed June 19. <http://www.electronicdesign.com/components/understanding-resolution-optical-and-magnetic-encoders>.
- Norma AISI. 2015. "Clasificación de Los Aceros Inoxidables Según Norma AISI." <http://www.multimet.net/pdf/clasificacionaceros.pdf>.
- Oficial SELFOIL, Distribuidor A. 2017. "Características Aceros Especiales." Accessed July 13. <http://www.metal-service.net/pdf/CARACTERISTIQUES ACERS.pdf>.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC. 2017. "Factor D'emissió Associat a L'energia Elèctrica: El Mix Elèctric. Canvi Climàtic. Generalitat de Catalunya." Accessed July 1. [http://canviclimatic.gencat.cat/ca/redueix\\_emissions/factors\\_demissio\\_associats\\_a\\_lenergia/](http://canviclimatic.gencat.cat/ca/redueix_emissions/factors_demissio_associats_a_lenergia/).

- Ortiz, Pedro. n.d. "Engranajes Cilíndricos Dentado Recto," 1–2.
- Pablo. 2017. "Tipos de Motores." Accessed May 23. <http://10tipos.com/tipos-de-motores/>.
- Pc-control. 2017. "Incremental Encoders: How They Work and What Are Their Benefits." Accessed May 29. [https://www.pc-control.co.uk/incremental\\_encoders.htm](https://www.pc-control.co.uk/incremental_encoders.htm).
- Pelegrí, José Rafael Lajara; José. 2007. *LabVIEW, Entorno Gráfico de Programación, LabVIEW 8.20 Y Versiones Anteriores*. Edited by Marcombo.
- Pérez, Sergio Rafael Tirado. 2017. "Motores Eléctricos." Accessed June 12. <http://www.monografias.com/trabajos93/motores-electricos/motores-electricos.shtml>.
- Reductores, CompañíaLevantina de. 2017. "Reductores de Velocidad: Aplicaciones Y Funcionamiento - Blog CLR." Accessed May 15. <https://clr.es/blog/es/reductores-velocidad-funcionamiento/>.
- Sánchez, Manuel Alonso. 2017. "Electromagnetismo. Efecto Hall." Accessed June 20. <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Electromagnetismo/Electromagnetismo07b.htm>.
- Taberner Rosaleny, Rafael. 2017. "ENCODERS ÓPTICOS." Accessed April 25. [http://www.infoplc.net/files/documentacion/instrumentacion\\_deteccion/infoPLC\\_net\\_ENCODERS\\_OPTICOS.pdf](http://www.infoplc.net/files/documentacion/instrumentacion_deteccion/infoPLC_net_ENCODERS_OPTICOS.pdf).
- West Instruments de México. 2017. "MANUAL DE APLICACIÓN DE ENCODERS Encoders Ópticos." Accessed May 6. <https://www.acomee.com.mx/ENCODERS.pdf>.
- Wikipedia. 2017. "Encoder - Wikipedia." Accessed May 10. <https://en.wikipedia.org/wiki/Encoder>.
- Youngblood, Tim. 2017. "How to Use a Rotary Encoder." Accessed July 5. <https://www.allaboutcircuits.com/projects/how-to-use-a-rotary-encoder-in-a-mcu-based-project/>.

## Annex A

### A1. Codi informàtic per la connexió entre Arduino i Labview

```

/*****
**
** LVFA_Firmware - Provides Basic Arduino Sketch For Interfacing With LabVIEW.
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
*****/

/*****
**
** Includes.
**
*****/

// Standard includes. These should always be included.
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"

/*****
** setup()
**
** Initialize the Arduino and setup serial communication.
**
** Input: None
** Output: None
*****/

void setup()
{
    // Initialize Serial Port With The Default Baud Rate
    synclV();

    // Place your custom setup code here
}

/*****
** loop()

```

```
**
** The main loop. This loop runs continuously on the Arduino. It
** receives and processes serial commands from LabVIEW.
**
** Input: None
** Output: None
*****/
void loop()
{
    // Check for commands from LabVIEW and process them.

    checkForCommand();
    // Place your custom loop code here (this may slow down communication with LabVIEW)

    if(acqMode==1)
    {
        sampleContinuously();
    }
}

/*****
**
**
** LVFA_Firmware - Provides Functions For Interfacing With The Arduino Uno
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
*****/

/*****
** Define Constants
**
** Define directives providing meaningful names for constant values.
*****/

#define FIRMWARE_MAJOR 02
#define FIRMWARE_MINOR 00
#if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
#define DEFAULTBAUDRATE 9600 // Defines The Default Serial Baud Rate (This must match the baud rate
specifid in LabVIEW)
#else
#define DEFAULTBAUDRATE 115200
#endif
#define MODE_DEFAULT 0 // Defines Arduino Modes (Currently Not Used)
```



```

#define COMMANDLENGTH 15      // Defines The Number Of Bytes In A Single LabVIEW Command (This must
match the packet size specifid in LabVIEW)
#define STEPPER_SUPPORT 1      // Defines Whether The Stepper Library Is Included - Comment This Line To
Exclude Stepper Support

// Declare Variables
unsigned char currentCommand[COMMANDLENGTH]; // The Current Command For The Arduino To Process
//Globals for continuous aquisition
unsigned char acqMode;
unsigned char contAcqPin;
float contAcqSpeed;
float acquisitionPeriod;
float iterationsFlt;
int iterations;
float delayTime;

/*****
** syncLV
**
** Synchronizes with LabVIEW and sends info about the board and firmware (Unimplemented)
**
** Input: None
** Output: None
*****/
void syncLV();

/*****
** setMode
**
** Sets the mode of the Arduino (Reserved For Future Use)
**
** Input: Int - Mode
** Output: None
*****/
void setMode(int mode);

/*****
** checkForCommand
**
** Checks for new commands from LabVIEW and processes them if any exists.
**
** Input: None
** Output: 1 - Command received and processed
**         0 - No new command
*****/
int checkForCommand(void);

/*****
** processCommand
**
** Processes a given command

```

```

**
** Input: command of COMMANDLENGTH bytes
** Output: 1 - Command received and processed
**         0 - No new command
*****/
void processCommand(unsigned char command[]);

/*****
** writeDigitalPort
**
** Write values to DIO pins 0 - 13. Pins must first be configured as outputs.
**
** Input: Command containing digital port data
** Output: None
*****/
void writeDigitalPort(unsigned char command[]);

/*****
** analogReadPort
**
** Reads all 6 analog input ports, builds 8 byte packet, send via RS232.
**
** Input: None
** Output: None
*****/
void analogReadPort();

/*****
** sevenSegment_Config
**
** Configure digital I/O pins to use for seven segment display. Pins are stored in sevenSegmentPins array.
**
** Input: Pins to use for seven segment LED [A, B, C, D, E, F, G, DP]
** Output: None
*****/
void sevenSegment_Config(unsigned char command[]);

/*****
** sevenSegment_Write
**
** Write values to sevenSegment display. Must first use sevenSegment_Configure
**
** Input: Eight values to write to seven segment display
** Output: None
*****/
void sevenSegment_Write(unsigned char command[]);

/*****
** spi_setClockDivider
**
** Set the SPI Clock Divisor
**
** Input: SPI Clock Divider 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128

```

```

** Output: None
*****/
void spi_setClockDivider(unsigned char divider);

/*****/
** spi_sendReceive
**
** Sens / Receive SPI Data
**
** Input: Command Packet
** Output: None (This command sends one serial byte back to LV for each data byte.
*****/
void spi_sendReceive(unsigned char command[]);

/*****/
** checksum_Compute
**
** Compute Packet Checksum
**
** Input: Command Packet
** Output: Char Checksum Value
*****/
unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[]);

/*****/
** checksum_Test
**
** Compute Packet Checksum And Test Against Included Checksum
**
** Input: Command Packet
** Output: 0 If Checksums Are Equal, Else 1
*****/
int checksum_Test(unsigned char command[]);

/*****/
** AccelStepper_Write
**
** Parse command packet and write speed, direction, and number of steps to travel
**
** Input: Command Packet
** Output: None
*****/
void AccelStepper_Write(unsigned char command[]);

/*****/
** SampleContinuously
**
** Returns several analog input points at once.
**
** Input: void
** Output: void
*****/
void sampleContinuously(void);

```

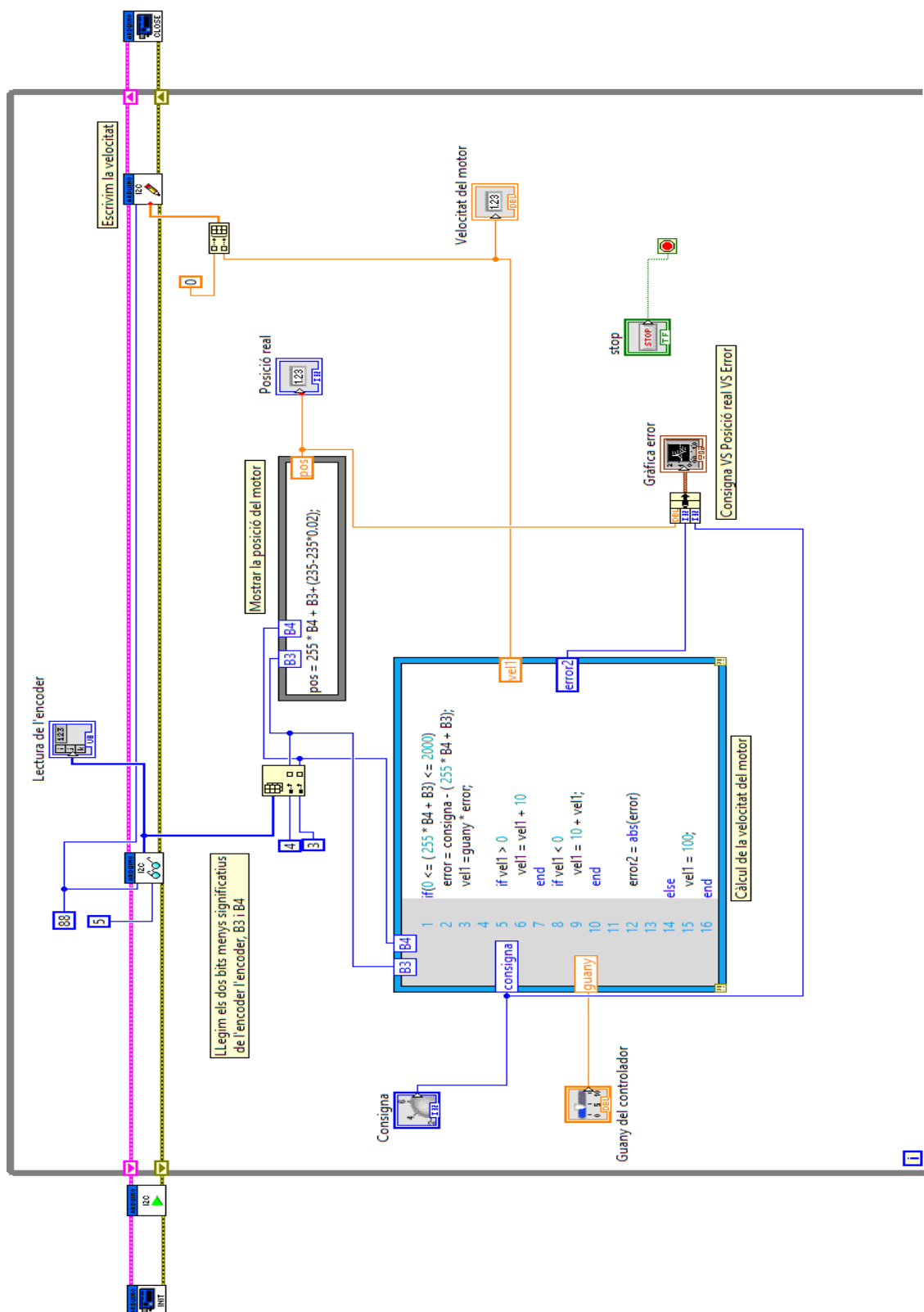


```

/*****
** finiteAcquisition
**
** Returns the number of samples specified at the rate specified.
**
** Input: pin to sampe on, speed to sample at, number of samples
** Output: void
*****/
void finiteAcquisition(int analogPin, float acquisitionSpeed, int numberOfSamples );
/*****
** lcd_print
**
** Prints Data to the LCD With The Given Base
**
** Input: Command Packet
** Output: None
*****/
void lcd_print(unsigned char command[]);

```

## A2. Diagrama de Blocs del sistema de control del motor



### **A3. Fitxa tècnica del motor EMG30**

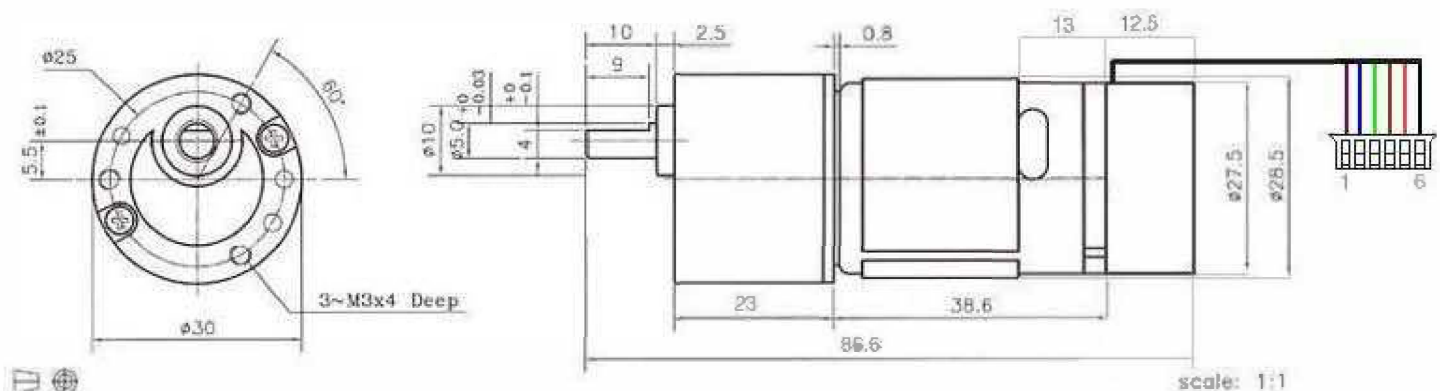


## EMG30, mounting bracket and wheel specification



The EMG30 (encoder, motor, gearbox 30:1) is a 12v motor fully equipped with encoders and a 30:1 reduction gearbox. It is ideal for small or medium robotic applications, providing cost effective drive and feedback for the user. It also includes a standard noise suppression capacitor across the motor windings.

### Measurements



### Connector

The EMG30 is supplied with a 6 way JST connector (part no PHR-6) at the end of approx 90mm of cable as standard. The connections are:

| Wire colour | Connection         |
|-------------|--------------------|
| Purple (1)  | Hall Sensor B Vout |
| Blue (2)    | Hall sensor A Vout |
| Green (3)   | Hall sensor ground |
| Brown (4)   | Hall sensor Vcc    |
| Red (5)     | + Motor            |
| Black (6)   | - Motor            |

Wire colours are from the actual cable.

The hall sensors accept voltages between 3.5v and 20v.

The outputs are open collector and require pull-ups to whatever signal level is required.

On the MD25 they are powered from 12v and pulled up to 5v for the signals.

### specification

|               |          |
|---------------|----------|
| Rated voltage | 12v      |
| Rated torque  | 1.5kg/cm |
| Rated speed   | 170rpm   |

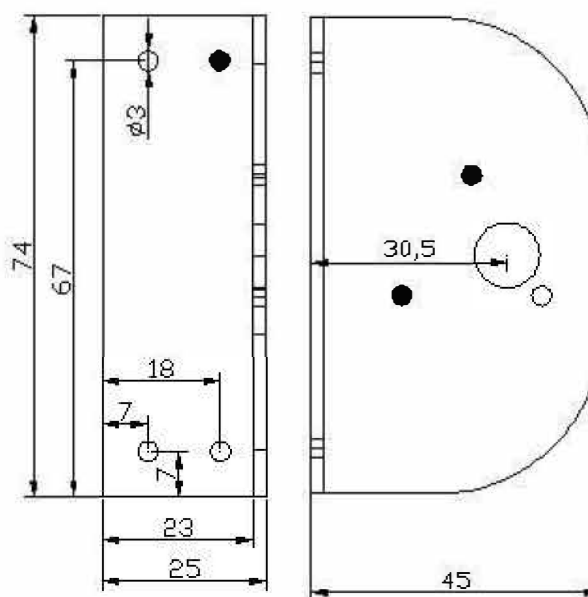
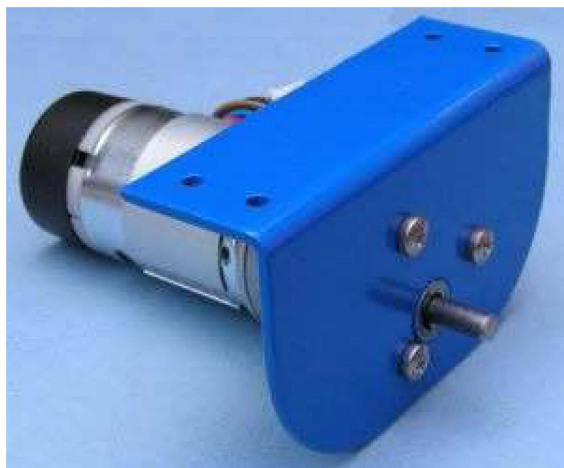
|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Rated current                        | 530mA |
| No load speed                        | 216   |
| No load current                      | 150mA |
| Stall Current                        | 2.5A  |
| Rated output                         | 4.22W |
| Encoder counts per output shaft turn | 360   |

### Measured Shaft Speed when used off-load with MD23 and 12v supply.

|               |        |
|---------------|--------|
| Minimum Speed | 1.5rpm |
| Maximum Speed | 200rpm |

### EMG30 Mounting Bracket

Providing easy mounting of the EMG30 to the robot, the bracket is made from a 2mm thick strong aluminum and finished in blue enamel.



### Wheel 100

A 100mm diameter wheel with 5mm diameter hub for easy attachment to the EMG30, the wheel has a 26mm wide rubber tread

## **A4. Dades del Gaussímetre sobre l'imant de l'encoder**

Iman Encoder Surface Magnet Testing Report

Sample Name

Temp.

Probe

Pole

Iman Encoder

Tamb

6 pols

multipolar ext

Sample Code

Magnetizing Condition

Coil No.

Remarks

Iman Encoder

Testing No.

Tested By

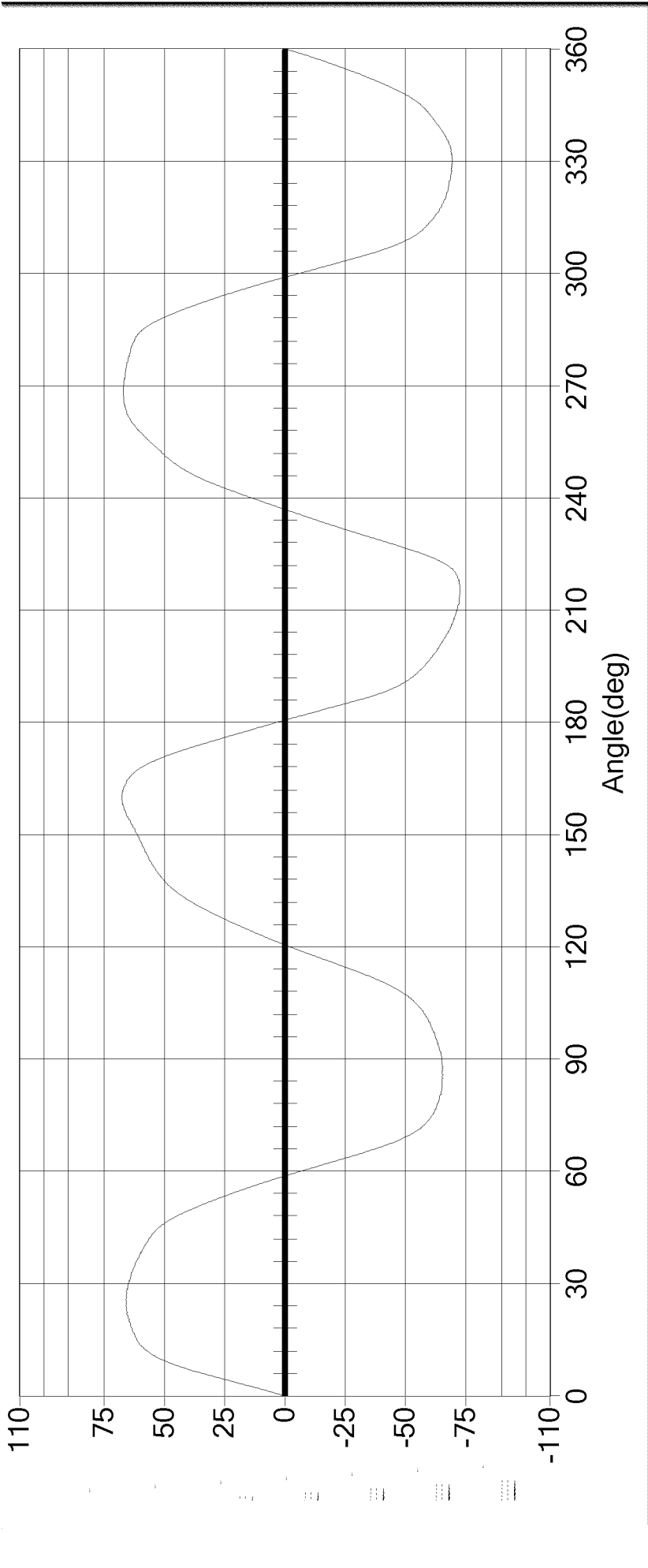
Magnetizer

Material

Date

Magnetometer

Start Testing

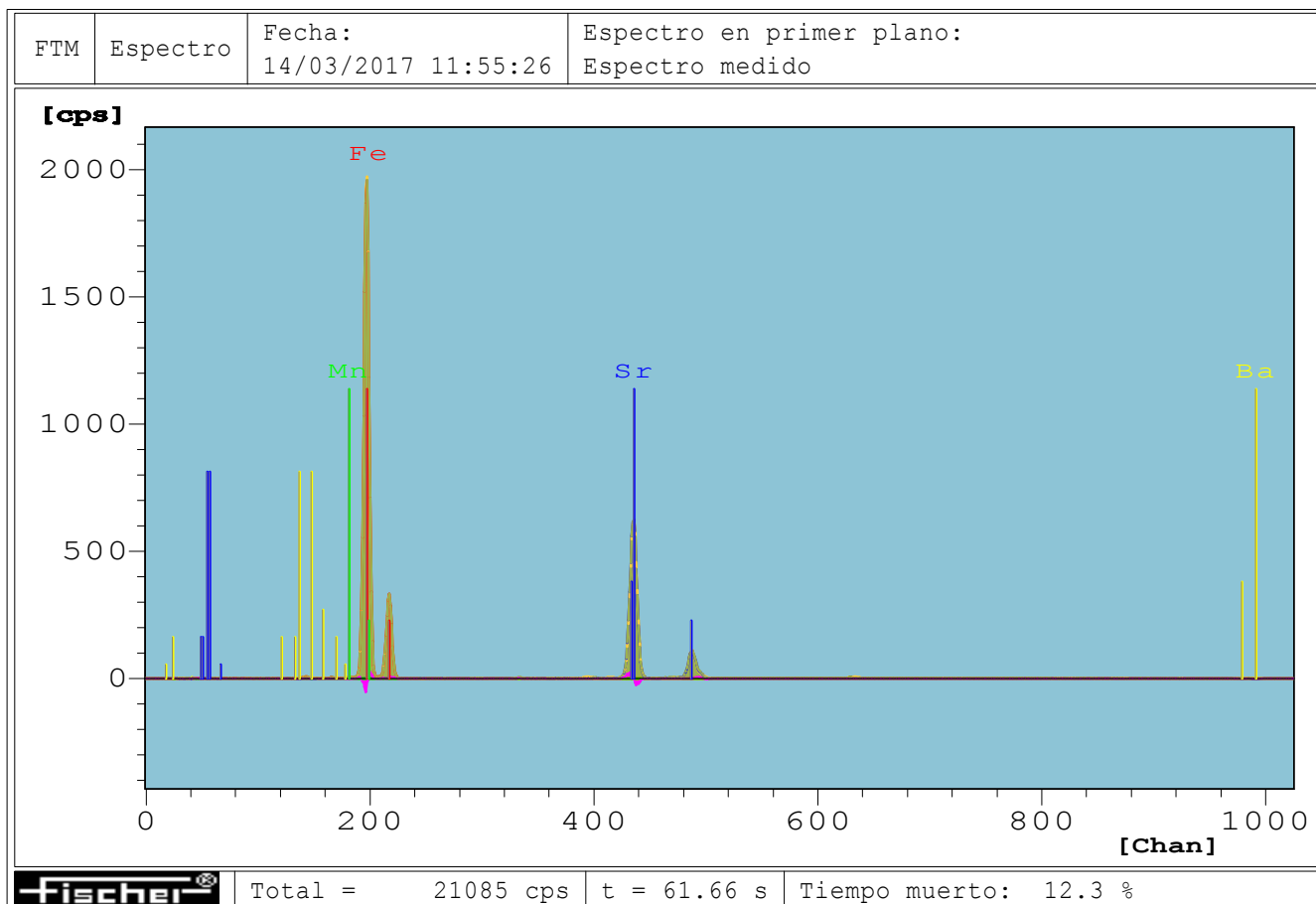


| N   |         |            | S       |            |            |
|-----|---------|------------|---------|------------|------------|
|     | Val(mT) | Angle(deg) | Val(mT) | Angle(deg) | Area(Tdeg) |
| Max | 67.68   | 61.92      | 72.78   | 61.74      | 3.08       |
| Min | 66.06   | 58.68      | 65.53   | 56.16      | 2.88       |
| Ave | 66.96   | 60.24      | 69.29   | 59.64      | 2.98       |

|            |        |           |       |
|------------|--------|-----------|-------|
| Nom(mT)    | 100.00 | Ave(mT)   | 68.12 |
| Nom.dev(+) | 10.00  | Range(mT) | 7.25  |
| Nom.dev(-) | 10.00  | StaDev    | 2.68  |
| Pole Count | 6      | Cp        | 1.24  |
| Area(Tdeg) | 17.55  | Cpk       | -2.72 |

## **A5. Dades del Espectròmetre de raig X sobre l'imant de l'encoder**





Primer plano: Espectro medido  
 Espectro de dispersión (scatt)  
 Suma espectral  
 Residuo

Parámetros de medida (espectro primer plano)

Alta tensión = 50 kV (875) Filtro prim. = Al1000

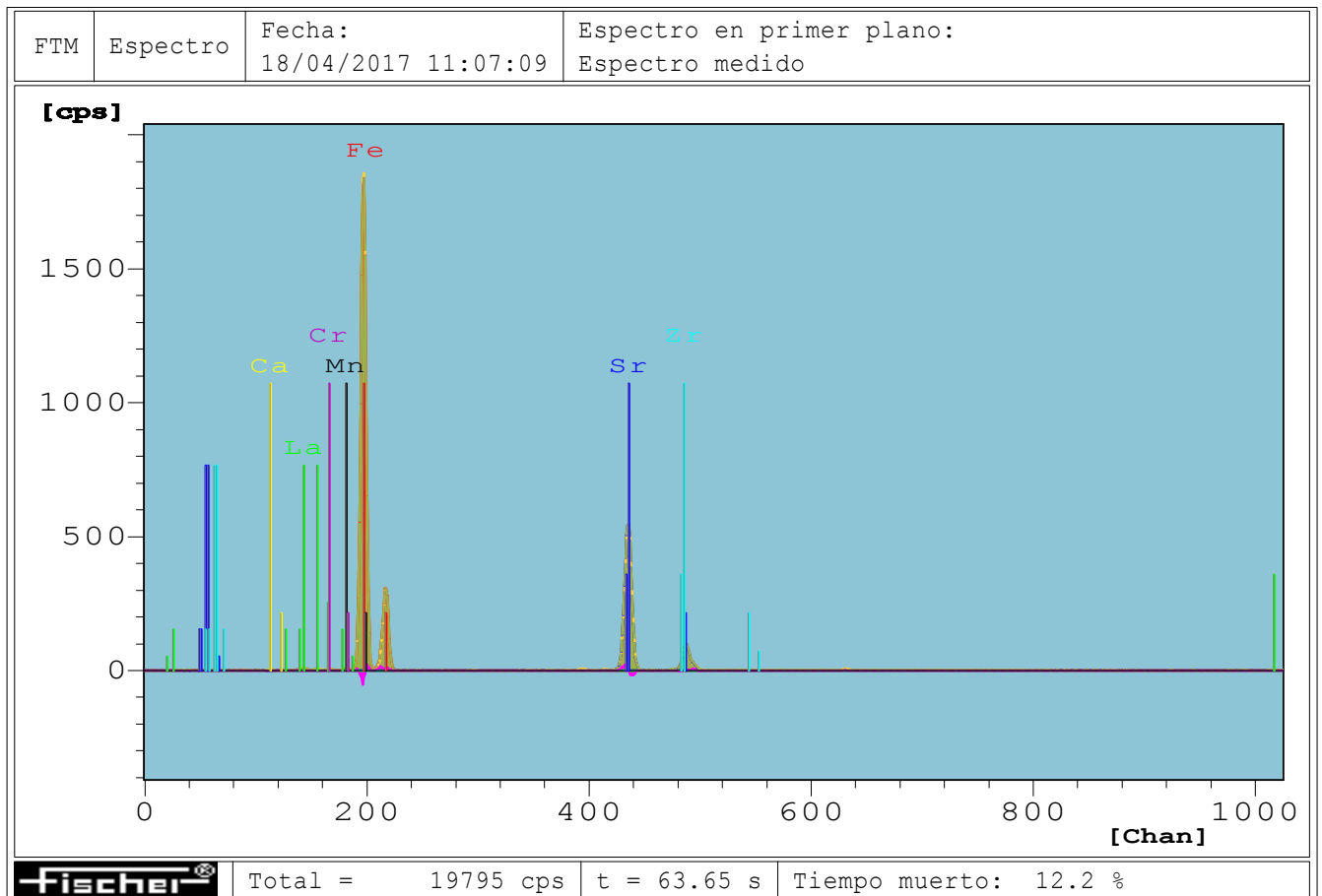
Colimador 1 = 1.00 Dm. Tensión de ánodo 1000 uA

Distancia med. = 0.44 mm

Resultado del análisis: (%)

|  |    |    |   |       |
|--|----|----|---|-------|
|  | 26 | Fe | = | 86.78 |
|  | 38 | Sr | = | 12.44 |
|  | 25 | Mn | = | 0.26  |
|  | 56 | Ba | = | 0.52  |

## **A6. Dades del Espectròmetre de raig X sobre l'imant de l'estator**



Primer plano: Espectro medido  
 Espectro de dispersión (scatt)  
 Suma espectral  
 Residuo

Parámetros de medida (espectro primer plano)

Alta tensión = 50 kV (875) Filtro prim. = Al1000

Colimador 1 = 1.00 Dm. Tensión de ánodo 1000 uA

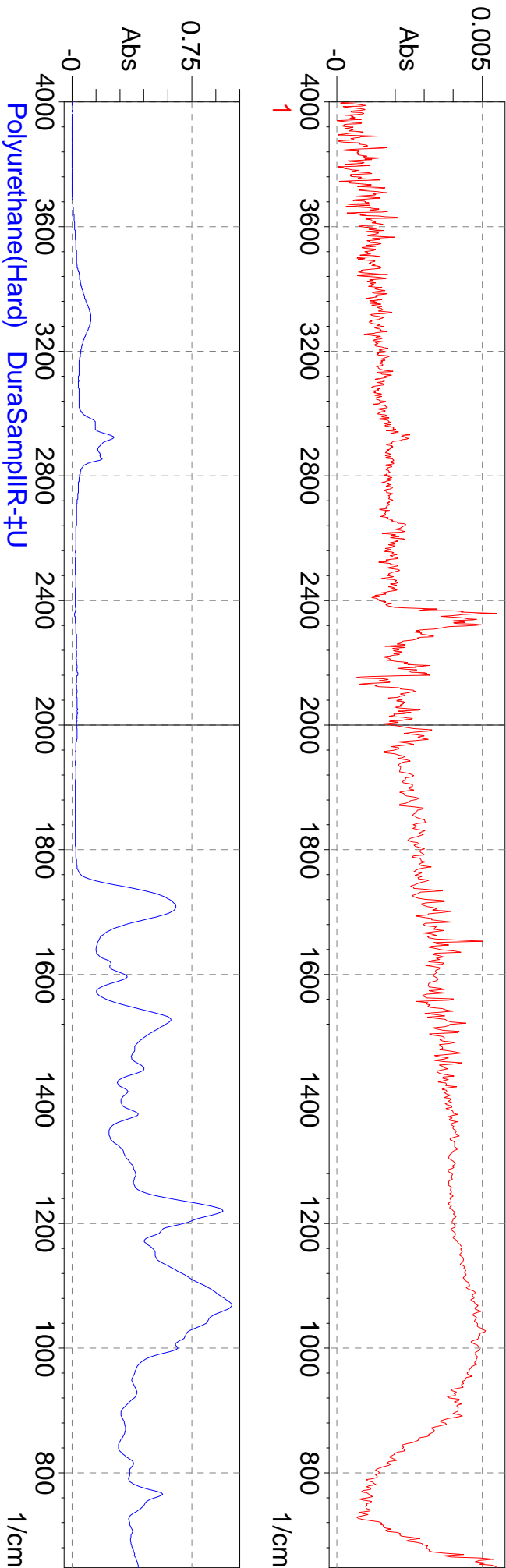
Distancia med. = 0.56 mm

Resultado del análisis: (%)

|  |    |    |   |       |
|--|----|----|---|-------|
|  | 26 | Fe | = | 85.54 |
|  | 38 | Sr | = | 10.61 |
|  | 57 | La | = | 1.22  |
|  | 20 | Ca | = | 2.04  |
|  | 25 | Mn | = | 0.40  |
|  | 24 | Cr | = | 0.19  |
|  | 40 | Zr | = | 0.00  |

## **A7. Dades del polímer contingut a l'imant de l'estator i encoder**

06/15/17



|   | Score | Library      | Note found / Title  |
|---|-------|--------------|---|
| 1 | 693   | 31 - Polymer | D_PU1: DESCRIPTION= Polyurethane(Hard) DuraSampleIR-PU; HISTORY= <04/13/05 17:40:10>, <2'sCSC>, <>, <1/2-1Y IRPrestige-21 , SNO: - >                                  |
| 2 | 693   | 31 - Polymer | D_PU1: DESCRIPTION= Polyurethane(Hard) DuraSampleIR-PU; HISTORY= <04/13/05 17:40:10>, <2'sCSC>, <>, <1/2-1Y IRPrestige-21 , SNO: - >                                  |
| 3 | 679   | 275 - Hummel | 275: DESCRIPTION= Polyether urethane, PPO+MBI; HISTORY= <10/17/03 13:19:09>, <Spectro>, <>, <Normalization to 1.000 Abs by multiplication with 9.990 of each data poi |
| 4 | 674   | 35 - RUBBER_ | 35: DESCRIPTION= AKROCHEM DC-40P; HISTORY= <10/17/03 17:38:01>, <Spectro>, <>, <Normalization to 1.000 Abs by multiplication with 9.990 of each data point in data    |

## **A8. Característiques de la ferrita magnètica Y30BH**

## PRODUCT IDENTIFICATION

**Product Name:** Anisotropic Ferrite Magnet

**Generic Description:**  $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$

**Transport details:** Passenger and Cargo Aircraft

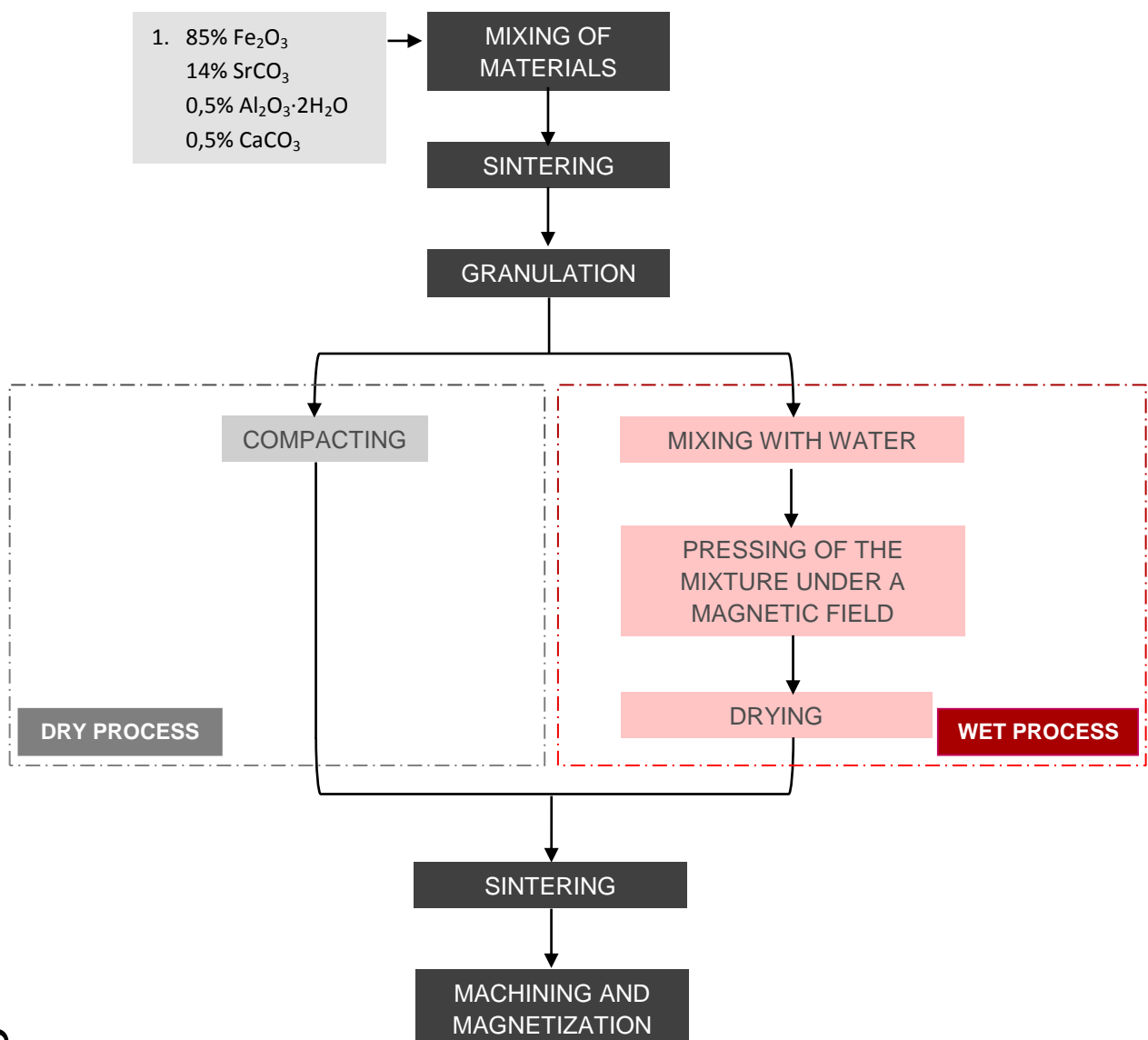
**Shipment type:** Not radioactive

**UN:** 2807

**Class or Division:** 9

**Packing Type:** 902

## COMPOSITION AND INFORMATION ABOUT COMPONENT



## TECHNICAL INFORMATION

**Aspect:** Solid

**Colour:** Dark grey

**Density:** 4,5 – 4,9 g/cm<sup>3</sup>

**Working temp. range:** 20 °C – 250 °C

**Magnetic properties under normal conditions:**

## ANISOTROPIC FERRITE

### Intrinsic characteristics

| Quality       | Remanence |        | Coercitivity Force Hc |          |           | Max. Energy product    |                        | Temperature rev. Coef. |             | Density              |      | Max. Temp. Work |
|---------------|-----------|--------|-----------------------|----------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------|----------------------|------|-----------------|
|               | Br        |        | Hcb                   |          | Hci       | (B-H) max              |                        | %Br (%/°C)             | %Hci (%/°C) | (g/cm <sup>3</sup> ) |      | Tw              |
|               | Min.      | Max.   | Min.                  | Max.     |           | Min.                   | Max.                   |                        |             | Min.                 | Max. |                 |
| Ferrite Y30BH | 0,38 T    | 0,40 T | 223 kA/m              | 239 kA/m | >200 kA/m | 27,1 kJ/m <sup>3</sup> | 30,3 kJ/m <sup>3</sup> | -0,2                   | +0,3        | 4,5                  | 4,9  | ≤ 250 °C        |
|               | 3,8 kG    | 4,0 kG | 2,8 kOe               | 3,0 kOe  | ≥2,51 kOe | 3,4 MGOe               | 3,8 MGOe               |                        |             |                      |      |                 |

The characteristic values of each magnetic material are measured under normal temperature and atmospheric pressure conditions. To calculate properties at higher temperatures a temperature co-efficient should be employed, which in the case of anisotropic ferrite is of -0.2%/°C in Br.

The working temperature range of the magnet should never be exceeded.

All ferrite magnets and magnetic systems comply with the RoHS standard (Directive 2002\_95\_CE).



## **A9. Fitxa tècnica del placa del MD25**

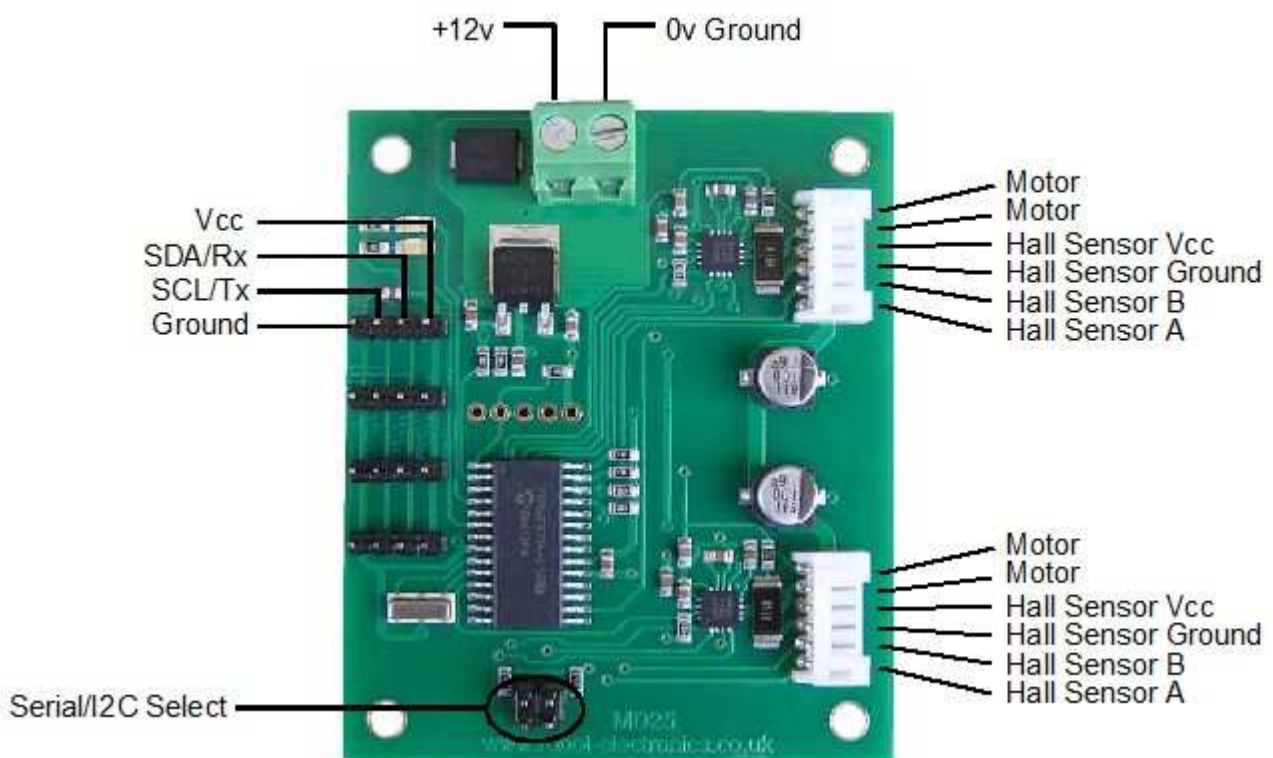
# MD25 - Dual 12Volt 2.8Amp H Bridge Motor Drive

## Overview

The MD25 is a robust I2C or serial, dual motor driver, designed for use with our EMG30 motors. Main features are:

1. Reads motors encoders and provides counts for determining distance traveled and direction .
2. Drives two motors with independent or combined control.
3. Motor current is readable.
4. Only 12v is required to power the module.
5. Onboard 5v regulator can supply up to 1A peak, 300mA continuously to external circuitry
6. Steering feature, motors can be commanded to turn by sent value.
7. Variable acceleration and power regulation also included

## Connections



## Jumper Selection

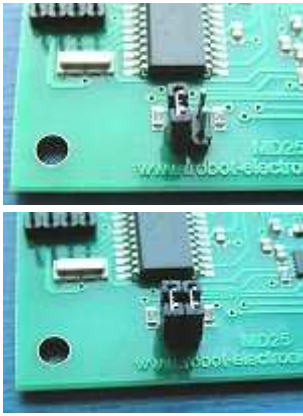


I2C mode with no jumpers installed, up to 100 khz clock.  
[Full Details of I2C Mode is here](#)



Serial mode at 9600 bps, 1 start bit, 2 stop bits, no parity  
[Full Details of Serial Mode is here](#)

Serial mode at 19200 bps, 1 start bit, 2 stop bits, no parity



[Full Details of Serial Mode is here](#)

Serial mode at 38400 bps, 1 start bit, 2 stop bits, no parity

[Full Details of Serial Mode is here](#)

### **Motor Voltage**

The MD25 is designed to work with a 12v battery. In practical terms, this means the 9v-14v swing of a flat/charging 12v battery is fine. Much below 9v and the under-voltage protection will prevent any drive to the motors.

### **Motor Noise Suppression**

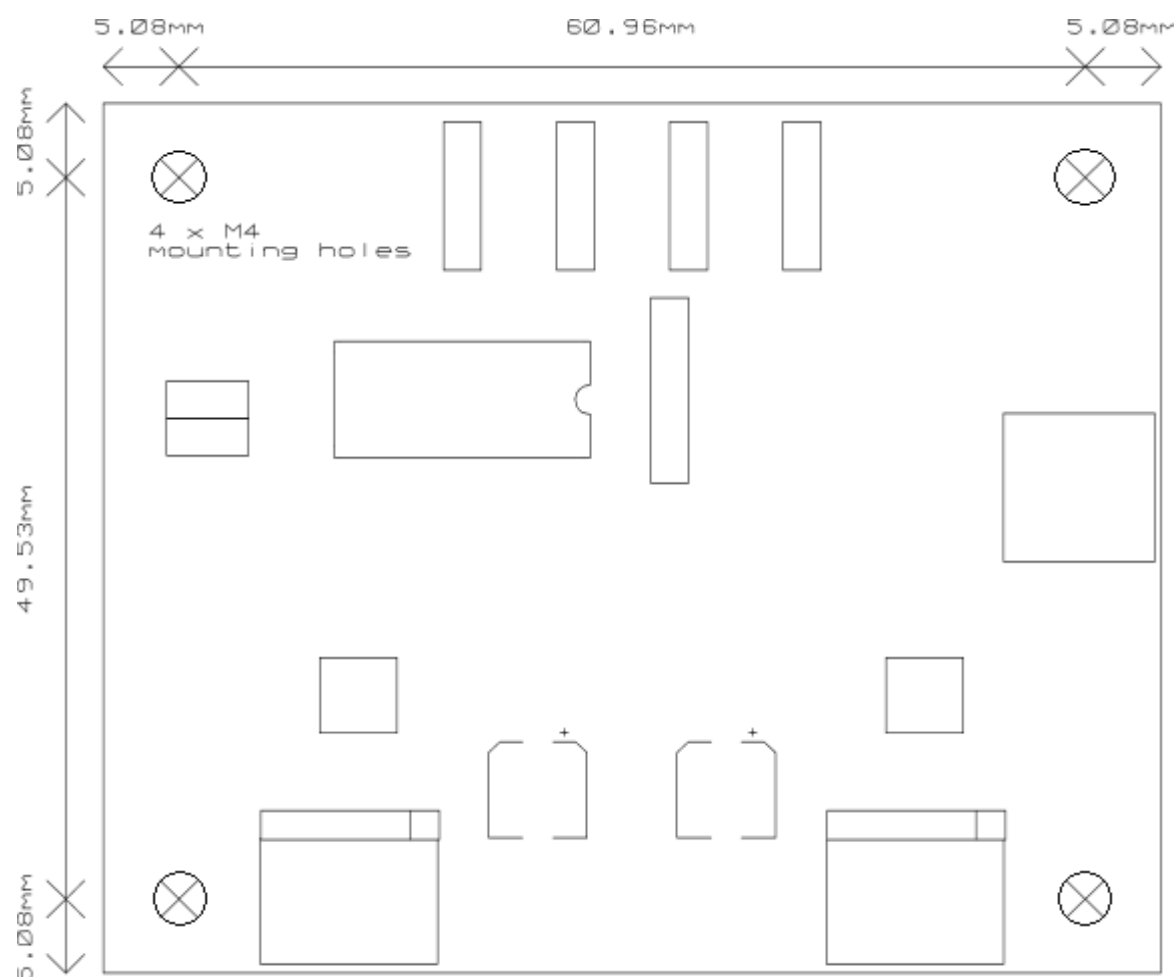
When using our EMG30 encoded motors, you will find that a 10n noise suppression capacitor has already been fitted. Other motors may require suppression. This is easily achieved by the addition of a 10n snubbing capacitor across the motors. The capacitor should also be capable of handling a voltage of twice the drive voltage to the motor.

### **Leds**

The Red Power Led indicates power is applied to the module.

A Green Led indicates communication activity with the MD25. In I2C mode the green led will also initially flash the address it has been set to. See I2C documentation for further details.

### **Board dimensions**



# MD25 - Dual 12Volt 2.8Amp H Bridge Motor Drive

## I2C mode documentation

([Click here for Serial Mode](#))

### Automatic Speed regulation

By using feedback from the encoders the MD25 is able to dynamically increase power as required. If the required speed is not being achieved, the MD25 will increase power to the motors until it reaches the desired rate or the motors reach there maximum output. Speed regulation can be turned off in the [command register](#).

### Automatic Motor Timeout

The MD25 will automatically stop the motors if there is no I2C communications within 2 seconds. This is to prevent your robot running wild if the controller fails. The feature can be turned off, if not required. See the [command register](#).

### Controlling the MD25

The MD25 is designed to operate in a standard I2C bus system on addresses from 0xB0 to 0xBE (last bit of address is read/write bit, so even numbers only), with its default address being 0xB0. This is easily changed by removing the Address Jumper or in the software see [Changing the I2C Bus Address](#).

I2C mode allows the MD25 to be connected to popular controllers such as the PICAXE, OOPic and BS2p, and a wide range of micro-controllers like PIC's, AVR's, 8051's etc.

I2C communication protocol with the MD25 module is the same as popular EPROM's such as the 24C04. To read one or more of the MD25 registers, first send a start bit, the module address (0XB0 for example) with the read/write bit low, then the register number you wish to read. This is followed by a repeated start and the module address again with the read/write bit high (0XB1 in this example). You are now able to read one or more registers. The MD25 has 17 registers numbered 0 to 16 as follows;

| Register | Name                              | Read/Write | Description   |
|----------|-----------------------------------|------------|---|
| 0        | <a href="#">Speed1</a>            | R/W        | Motor1 speed (mode 0,1) or speed (mode 2,3)                     |
| 1        | <a href="#">Speed2/Turn</a>       | R/W        | Motor2 speed (mode 0,1) or turn (mode 2,3)                      |
| 2        | <a href="#">Enc1a</a>             | Read only  | Encoder 1 position, 1st byte (highest), capture count when read |
| 3        | <a href="#">Enc1b</a>             | Read only  | Encoder 1 position, 2nd byte                                    |
| 4        | <a href="#">Enc1c</a>             | Read only  | Encoder 1 position, 3rd byte                                    |
| 5        | <a href="#">Enc1d</a>             | Read only  | Encoder 1 position, 4th (lowest byte)                           |
| 6        | <a href="#">Enc2a</a>             | Read only  | Encoder 2 position, 1st byte (highest), capture count when read |
| 7        | <a href="#">Enc2b</a>             | Read only  | Encoder 2 position, 2nd byte                                    |
| 8        | <a href="#">Enc2c</a>             | Read only  | Encoder 2 position, 3rd byte                                    |
| 9        | <a href="#">Enc2d</a>             | Read only  | Encoder 2 position, 4th byte (lowest byte)                      |
| 10       | <a href="#">Battery volts</a>     | Read only  | The supply battery voltage                                      |
| 11       | <a href="#">Motor 1 current</a>   | Read only  | The current through motor 1                                     |
| 12       | <a href="#">Motor 2 current</a>   | Read only  | The current through motor 2                                     |
| 13       | <a href="#">Software Revision</a> | Read only  | Software Revision Number  |
| 14       | <a href="#">Acceleration rate</a> | R/W        | Optional Acceleration register                                  |
| 15       | <a href="#">Mode</a>              | R/W        | Mode of operation (see below)                                   |
| 16       | <a href="#">Command</a>           | R/W        | Used for reset of encoder counts and module address changes     |

### Speed1 Register

Depending on what mode you are in, this register can affect the speed of one motor or both motors. If you are in mode 0 or 1 it will set the speed and direction of motor 1. The larger the number written to this register, the more power is applied to the motor. A mode of 2 or 3 will control the speed and direction of both motors (subject to effect of turn register).

### Speed2/Turn Register

When in mode 0 or 1 this register operates the speed and direction of motor 2. When in mode 2 or 3 Speed2 becomes a Turn register, and any value in this register is combined with the contents of Speed1 to steer the device (see below).

### Turn mode

Turn mode looks at the speed register to decide if the direction is forward or reverse. Then it applies a subtraction or addition of the turn value on either motor.

so if the direction is forward  
motor speed1 = speed - turn

motor speed2 = speed + turn

else the direction is reverse so

motor speed1 = speed + turn

motor speed2 = speed - turn

If the either motor is not able to achieve the required speed for the turn (beyond the maximum output), then the other motor is automatically changed by the program to meet the required difference.

### Encoder registers

Each motor has its encoder count stored in an array of four bytes, together the bytes form a signed 32 bit number, the encoder count is captured on a read of the highest byte (registers 2, 6) and the subsequent lower bytes will be held until another read of the highest byte takes place. The count is stored with the highest byte in the lowest numbered register. The registers can be zeroed at any time by writing 32 (0x20) to the [command register](#).

### Battery volts

A reading of the voltage of the connected battery is available in this register. It reads as 10 times the voltage (121 for 12.1v).

### Motor 1 and 2 current

A guide reading of the average current through the motor is available in this register. It reads approx ten times the number of Amps (25 at 2.5A).

### Software Revision number

This register contains the revision number of the software in the modules PIC16F873 controller - currently 1 at the time of writing.

### Acceleration Rate

If you require a controlled acceleration period for the attached motors to reach there ultimate speed, the MD25 has a register to provide this. It works by using a value into the acceleration register and incrementing the power by that value. Changing between the current speed of the motors and the new speed (from speed 1 and 2 registers). So if the motors were traveling at full speed in the forward direction (255) and were instructed to move at full speed in reverse (0), there would be 255 steps with an acceleration register value of 1, but 128 for a value of 2. The default acceleration value is 5, meaning the speed is changed from full forward to full reverse in 1.25 seconds. The register will accept values of 1 up to 10 which equates to a period of only 0.65 seconds to travel from full speed in one direction to full speed in the opposite direction.

So to calculate the time (in seconds) for the acceleration to complete :

if new speed > current speed

steps = (new speed - current speed) / acceleration register

if new speed < current speed

steps = (current speed - new speed) / acceleration register

time = steps \* 25ms

For example :

| Acceleration register | Time/step | Current speed | New speed | Steps | Acceleration time |
|-----------------------|-----------|---------------|-----------|-------|-------------------|
| 1                     | 25ms      | 0             | 255       | 255   | 6.375s            |
| 2                     | 25ms      | 127           | 255       | 64    | 1.6s              |
| 3                     | 25ms      | 80            | 0         | 27    | 0.675s            |
| 5 (default)           | 25ms      | 0             | 255       | 51    | 1.275s            |
| 10                    | 25ms      | 255           | 0         | 26    | 0.65s             |

### Mode Register

The mode register selects which mode of operation and I2C data input type the user requires. The options being:

**0**, (Default Setting) If a value of 0 is written to the mode register then the meaning of the speed registers is literal speeds in the range of 0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).

**1**, Mode 1 is similar to Mode 0, except that the speed registers are interpreted as signed values. The meaning of the speed registers is literal speeds in the range of -128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward).

**2**, Writing a value of 2 to the mode register will make speed1 control both motors speed, and speed2 becomes the turn

value.

Data is in the range of 0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).

**3,** Mode 3 is similar to Mode 2, except that the speed registers are interpreted as signed values.

Data is in the range of -128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward)

### Command register

| Command |     | Action  |
|---------|-----|---|
| Dec     | Hex |   |
| 32      | 20  | Resets the encoder registers to zero  |
| 48      | 30  | Disables automatic speed regulation   |
| 49      | 31  | Enables automatic speed regulation (default)  |
| 50      | 32  | Disables 2 second timeout of motors (Version 2 onwards only)                            |
| 51      | 33  | Enables 2 second timeout of motors when no I2C comms (default) (Version 2 onwards only) |
| 160     | A0  | 1st in sequence to change I2C address   |
| 170     | AA  | 2nd in sequence to change I2C address   |
| 165     | A5  | 3rd in sequence to change I2C address   |

### Changing the I2C Bus Address

To change the I2C address of the MD25 by writing a new address you must have only one module on the bus. Write the 3 sequence commands in the correct order followed by the address. Example; to change the address of an MD25 currently at 0xB0 (the default shipped address) to 0xB4, write the following to address 0xB0; (0xA0, 0xAA, 0xA5, 0xB4 ). These commands must be sent in the correct sequence to change the I2C address, additionally, no other command may be issued in the middle of the sequence. The sequence must be sent to the command register at location 16, which means 4 separate write transactions on the I2C bus. Because of the way the MD25 works internally, there MUST be a delay of at least 5mS between the writing of each of these 4 transactions. When done, you should label the MD25 with its address, however if you do forget, just power it up without sending any commands. The MD25 will flash its address out on the green communication LED. One long flash followed by a number of shorter flashes indicating its address. Any command sent to the MD25 during this period will still be received and writing new speeds or a write to the command register will terminate the flashing.

| Address |     | Long Flash | Short Flashes |
|---------|-----|------------|---------------|
| Decimal | Hex |            |               |
| 176     | B0  | 1          | 0             |
| 178     | B2  | 1          | 1             |
| 180     | B4  | 1          | 2             |
| 182     | B6  | 1          | 3             |
| 184     | B8  | 1          | 4             |
| 186     | BA  | 1          | 5             |
| 188     | BC  | 1          | 6             |
| 190     | BE  | 1          | 7             |

Take care not to set more than one MD25 to the same address, there will be a bus collision and very unpredictable results.

# MD25 - Dual 12Volt 2.8Amp H Bridge Motor Drive

## Serial mode documentation

([click here for I2C mode](#))

### Automatic Speed regulation

By using feedback from the encoders the MD25 is able to dynamically increase power as required. If the required speed is not being achieved, the MD25 will increase power to the motors until it reaches the desired rate or the motors reach their maximum output. Speed regulation can be turned off with the use of the REGULATOR DISABLE command..

### Automatic Motor Timeout

The MD25 will automatically stop the motors if there is no I2C communications within 2 seconds. This is to prevent your robot running wild if the controller fails. The feature can be turned off with the DISABLE TIMEOUT command

### Controlling the MD25

The MD25 is designed to operate with a TTL level serial bus (5v levels). Do not connect to RS232 directly, if you wish to connect to RS232 it must be with the aid of a voltage level converter such as a ST232 or serial interface such as S13 which is available here: [www.robot-electronics.co.uk/acatalog/Serial\\_Interface.html](http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/Serial_Interface.html)

### Commands

An easy to use command set provides all of the functions that the MD25 has to offer. The commands are sent with a sync byte of 0 at the start and then the command followed by any data bytes. The MD25 will then respond if the command is applicable.

| command | Name                               | Bytes sent to MD25 | Bytes returned by MD25 | Description  |
|---------|------------------------------------|--------------------|------------------------|--|
| 0x21    | <a href="#">GET SPEED 1</a>        | 2                  | 1                      | returns the current requested speed of motor 1                   |
| 0x22    | <a href="#">GET SPEED 2</a>        | 2                  | 1                      | returns the current requested speed of motor 2                   |
| 0x23    | <a href="#">GET ENCODER 1</a>      | 2                  | 4                      | motor 1 encoder count, 4 bytes returned high byte first (signed) |
| 0x24    | <a href="#">GET ENCODER 2</a>      | 2                  | 4                      | motor 2 encoder count, 4 bytes returned high byte first (signed) |
| 0x25    | <a href="#">GET ENCODERS</a>       | 2                  | 8                      | returns 8 bytes - encoder1 count, encoder2 count                 |
| 0x26    | <a href="#">GET VOLTS</a>          | 2                  | 1                      | returns the input battery voltage level                          |
| 0x27    | <a href="#">GET CURRENT 1</a>      | 2                  | 1                      | returns the current drawn by motor 1                             |
| 0x28    | <a href="#">GET CURRENT 2</a>      | 2                  | 1                      | returns the current drawn by motor 1                             |
| 0x29    | <a href="#">GET VERSION</a>        | 2                  | 1                      | returns the MD25 software version                                |
| 0x2A    | <a href="#">GET ACCELERATION</a>   | 2                  | 1                      | returns the current acceleration level                           |
| 0x2B    | <a href="#">GET MODE</a>           | 2                  | 1                      | returns the currently selected mode                              |
| 0x2C    | <a href="#">GET VI</a>             | 2                  | 3                      | returns battery volts, motor1 current and then motor2 current    |
| 0x31    | <a href="#">SET SPEED 1</a>        | 3                  | 0                      | set new speed1   |
| 0x32    | <a href="#">SET SPEED 2 / TURN</a> | 3                  | 0                      | set new speed2 or turn   |
| 0x33    | <a href="#">SET ACCELERATION</a>   | 3                  | 0                      | set new acceleration   |
| 0x34    | <a href="#">SET MODE</a>           | 3                  | 0                      | set the mode   |
| 0x35    | RESET ENCODERS                     | 2                  | 0                      | zero both of the encoder counts                                  |
| 0x36    | DISABLE REGULATOR                  | 2                  | 0                      | power output not changed by encoder feedback                     |
| 0x37    | ENABLE REGULATOR                   | 2                  | 0                      | power output is regulated by encoder feedback                    |
| 0x38    | DISABLE TIMEOUT                    | 2                  | 0                      | MD25 will continuously output with no regular commands           |



|      |                |   |   |   |
|------|----------------|---|---|---|
| 0x39 | ENABLE TIMEOUT | 2 | 0 | MD25 output will stop after 2 seconds without communication |
|------|----------------|---|---|---|

For example to read the battery voltage, send:

0x00 - sync byte

0x26 - READ VOLTS command

and the MD25 would respond with

0x77 - returned byte (119 decimal) 11.9v

### Speed1

Depending on what mode you are in, this register can affect the speed of one motor or both motors. If you are in mode 0 or 1 it will set the speed and direction of motor 1. The larger the number written to this register, the more power is applied to the motor. A mode of 2 or 3 will control the speed and direction of both motors (subject to effect of turn register).

### Speed2/Turn

When in mode 0 or 1 this operates the speed and direction of motor 2. When in mode 2 or 3 Speed2 becomes a Turn value, and is combined with Speed1 to steer the device (see below).

### Turn mode

Turn mode looks at the speed1 to decide if the direction is forward or reverse. Then it applies a subtraction or addition of the turn value on either motor.

so if the direction is forward

motor speed1 = speed1 - turn

motor speed2 = speed1 + turn

else the direction is reverse so

motor speed1 = speed1 + turn

motor speed2 = speed1 - turn

If the either motor is not able to achieve the required speed for the turn (beyond the maximum output), then the other motor is automatically changed by the program to meet the required difference.

### GET ENCODER 1, GET ENCODER 2 or GET ENCODERS

When a read encoder command is issued the MD25 will send out 4 bytes high byte first, which should be put together to form a 32 bit signed number. For example a GET ENCODER 1 command may return 0x00,0x10,0x56,0x32.

So declare a 32 bit signed variable in your program, for C:

```
long result;
result = serin() << 24;    // (0x00 shifted 24 bits left, effectively *
16777216)
result += serin() << 16;   // (0x10 shifted 16 bits left, effectively *
65536)
result += serin() << 8;    // (0x56 shifted 8 bits left, effectively *
256)
result += serin();         /   (0x32)
```

result now equals 1070642 decimal or 0x105632 hex. If the highest bit was set then it would be -ve.

read encoders will send encoder count 1 and then encoder count 2 but is put together in exactly the same way. The registers can be zeroed at any time by writing 0x35 to the MD25.

### Battery volts

A reading of the voltage of the connected battery is available. It returns as 10 times the voltage (121 for 12.1v).

### Motor 1 and 2 current

A guide reading of the average current through the motor is available. It reads approx ten times the number of Amps (25 at 2.5A).

### Software Revision number

Responds with the revision number of the software in the modules PIC16F873 controller - currently 1 at the time of writing.

### Acceleration Rate

If you require a controlled acceleration period for the attached motors to reach there ultimate speed, the MD25 has the ability to provide this. It works by using a sent acceleration value and incrementing the power by that value. Changing between the current speed of the motors and the new speed. So if the motors were traveling at full speed in the forward direction (255) and were instructed to move at full speed in reverse (0), there would be 255 steps with an acceleration register value of 1, but 128 for a value of 2. The default acceleration value is 5, meaning the speed is changed from full forward to full reverse in 1.25 seconds. The WRITE ACCELERATION command will accept values of 1 up to 10 which equates to a period of only 0.65 seconds to travel from full speed in one direction to full speed in the opposite direction.

So to calculate the time (in seconds) for the acceleration to complete :

if new speed > current speed

steps = (new speed - current speed) / acceleration register

if new speed < current speed

steps = (current speed - new speed) / acceleration register

time = steps \* 25ms

For example :

| Acceleration register | Time/step | Current speed | New speed | Steps | Acceleration time |
|-----------------------|-----------|---------------|-----------|-------|-------------------|
| 1                     | 25ms      | 0             | 255       | 255   | 6.375s            |
| 2                     | 25ms      | 127           | 255       | 64    | 1.6s              |
| 3                     | 25ms      | 80            | 0         | 27    | 0.675s            |
| 5 (default)           | 25ms      | 0             | 255       | 51    | 1.275s            |
| 10                    | 25ms      | 255           | 0         | 26    | 0.65s             |

### Mode

The mode command changes the way the speed/turn values are used. The options being:

**0,** (Default Setting) If a value of 0 is written then the speed registers is literal speeds in the range of 0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).

**1,** Mode 1 is similar to Mode 0, except that the speed values are interpreted as signed values. The range being -128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward).

**2,** Writing a value of 2 to the mode will make speed1 control both motors speed, and speed2 becomes the turn value.

Data is in the range of 0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).

**3,** Mode 3 is similar to Mode 2, except that the speed values are interpreted as signed values.

Data is in the range of -128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward)

### GET VI or SET VI

This command instructs the MD25 to send the battery volts reading (125 = 12.5v), then the current being drawn by motor 1 (roughly 1 count per 100mA) and finally the current being drawn by motor 2.

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Mecànica**

**APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC I EL SEU ANÀLISI  
GRÀFIC VIRTUAL**



**Plànols**

|                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| <b>Autor:</b>        | Aleix Jordà i Ferrer              |
| <b>Director:</b>     | Oscar Farrerons Vidal             |
| <b>Departament:</b>  | Expressió Gràfica de l'Enginyeria |
| <b>Convocatòria:</b> | Octubre del 2017                  |

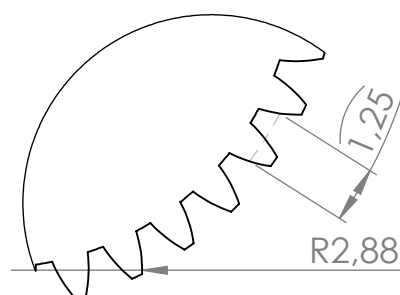
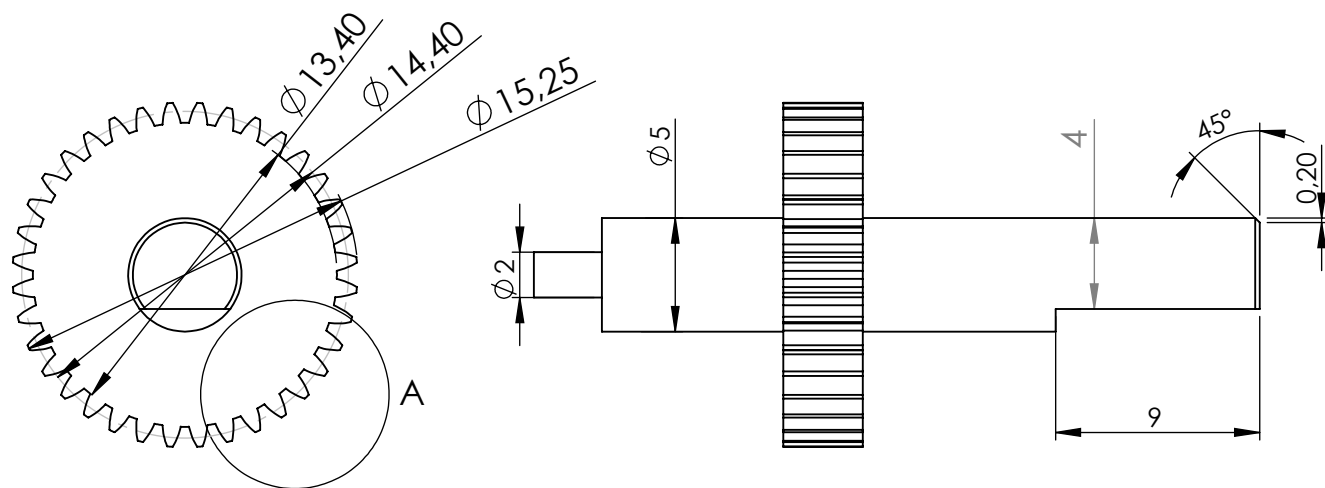


## Índex

|  |    |
|--|----|
| EIX EXTERN DE LA REDUCTORA (PEÇA M18)        | 1  |
| CARCASSA D'EIX EXTERN (PEÇA M24)             | 2  |
| CILINDRE DE LA REDUCTORA (PEÇA M17)          | 3  |
| ENGRANATGE REDUCTORA 1 (PEÇA M22)            | 4  |
| ENGRANATGE REDUCTORA 2 (PEÇA M20)            | 5  |
| ENGRANATGE REDUCTORA 3 (PEÇA M15)            | 6  |
| XASSÍS DE LA REDUCTORA (PEÇA M14)            | 7  |
| ENGRANATGE DE L'EIX ROTOR (PEÇA M7)          | 8  |
| DISC SEPARADOR (PEÇA M11)                    | 9  |
| EIX DEL ROTOR (PEÇA M6)                      | 10 |
| CILINDRE DEL COIXINET DEL ROTOR (PEÇA M4)    | 11 |
| COIXINET DE L'EIX DEL ROTOR (PEÇA M5)        | 12 |
| CILINDRE LIMITADOR DE L'EIX ROTOR (PEÇA M13) | 13 |
| CARCASSA DEL MOTOR (PEÇA M1)                 | 14 |
| CÈRCOL EXTERN DE LA CARCASSA (PEÇA M12)      | 15 |
| IMANT DE L'ESTATOR 1 (PEÇA M2)               | 16 |
| IMANT DE L'ESTATOR 2 (PEÇA M2)               | 17 |
| PINÇA DE L'ESTATOR (PEÇA M3)                 | 18 |
| TAPA DE LES LÀMINES DEL ROTOR (PEÇA M9)      | 19 |
| LÀMINES DEL ROTOR (PEÇA M8)                  | 20 |
| COL·LECTOR ELÈCTRIC (PEÇA M31)               | 21 |
| GALGUES DEL COL·LECTOR (PEÇA M29)            | 22 |
| ESCOMBRETES (PEÇA M30)                       | 23 |
| TAPA DE LA CARCASSA DEL MOTOR (PEÇA M28)     | 24 |
| XIP DE L'ENCODER (PEÇA M27)                  | 25 |

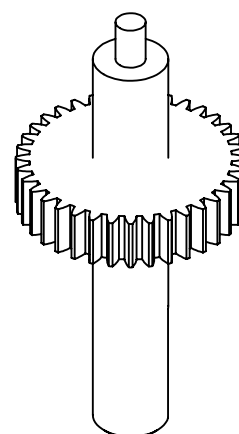




|   |    |
|---|----|
| IMANT DE L'ENCODER (PEÇA M25)                           | 26 |
| TAPA DEL XIP DE L'ENCODER (PEÇA M26)                    | 27 |
| BASE (PEÇA A6)  | 28 |
| PARET LATERAL (PEÇA A3)                                 | 29 |
| PARET SUPERIOR (PEÇA A16)                               | 30 |
| PARET LATERAL DE LA CABINA (PEÇA A7)                    | 31 |
| TAPES DE LA CABINA (PEÇA A2)                            | 32 |
| PILAR DE L'ESTRUCTURA (PEÇA A1)                         | 33 |
| PILAR DE LA CABINA (PEÇA A11)                           | 34 |
| PILAR LATERAL DE LA CABINA (PEÇA A9)                    | 35 |
| POLITJA MOTORA (PEÇA A18)                               | 36 |
| POLITJA CONDUCTORA (PEÇA A14)                           | 37 |
| EIX DE LA POLITJA CONDUCTORA (PEÇA A10)                 | 38 |
| SUPORT DE L'EIX DE LA POLITJA CONDUCTORA (PEÇA A12)     | 39 |
| LIMITADOR DE MOVIMENT DE L'EIX DE LA POLITJA (PEÇA A13) | 40 |
| SUPORT MOTOR (PEÇA A17)                                 | 41 |
| SUPORT DE LA RODETA (PEÇA A5)                           | 42 |
| EIX DEL SUPORT DE LA RODETA (PEÇA A4)                   | 43 |
| RODA DE LA RODETA (PEÇA A8)                             | 44 |
| BARRA DE LA GUIA DE LA CABINA (PEÇA A15)                | 45 |
| ÚTIL DE SUBJECCIÓ DE L'IMANT                            | 46 |
| MOTOR I REDUCTORA                                       | 47 |
| EXPLOSIONAT DEL MOTOR I REDUCTORA                       | 48 |
| PROTOTIP D'ASCENSOR                                     | 49 |
| EXPLOSIONAT DEL PROTOTIP D'ASCENSOR                     | 50 |

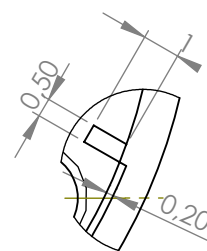
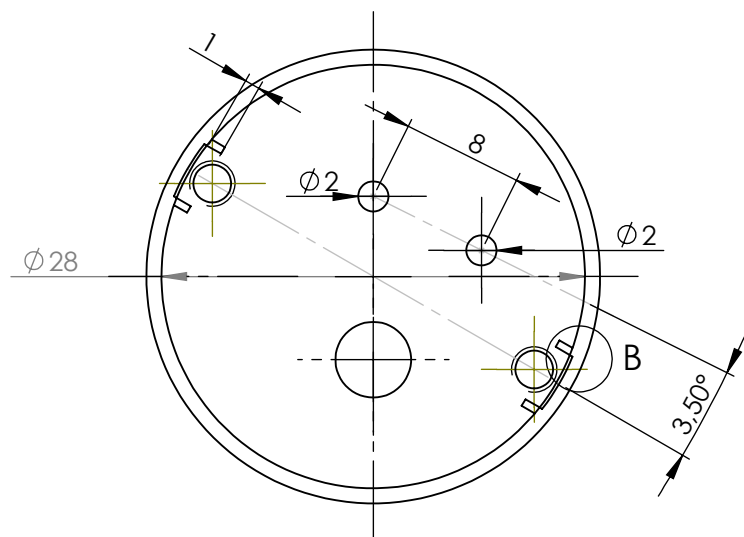


DETALL A  
ESCALA 6:1

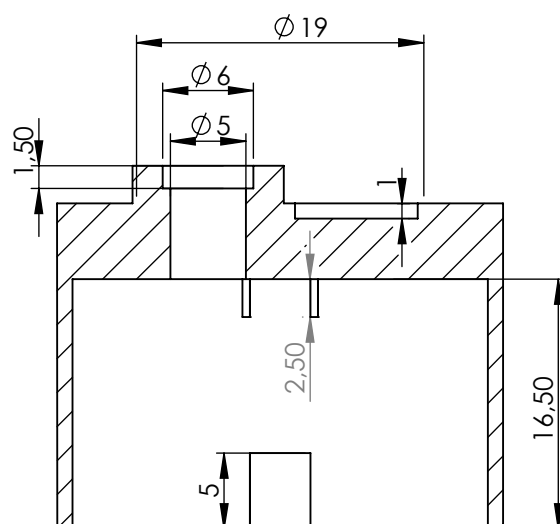
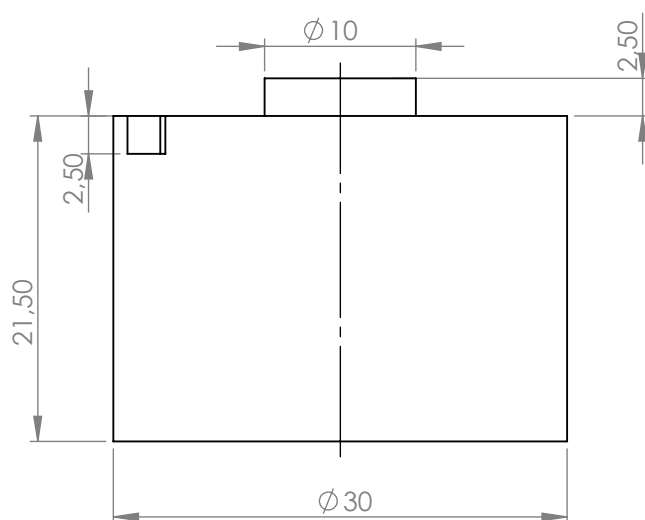
$z=36$        $m=0.4$   
 $p=1,25\text{mm}$        $\alpha=20^\circ$



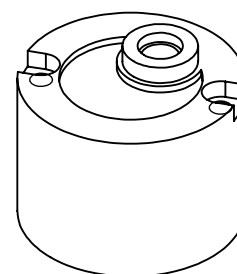
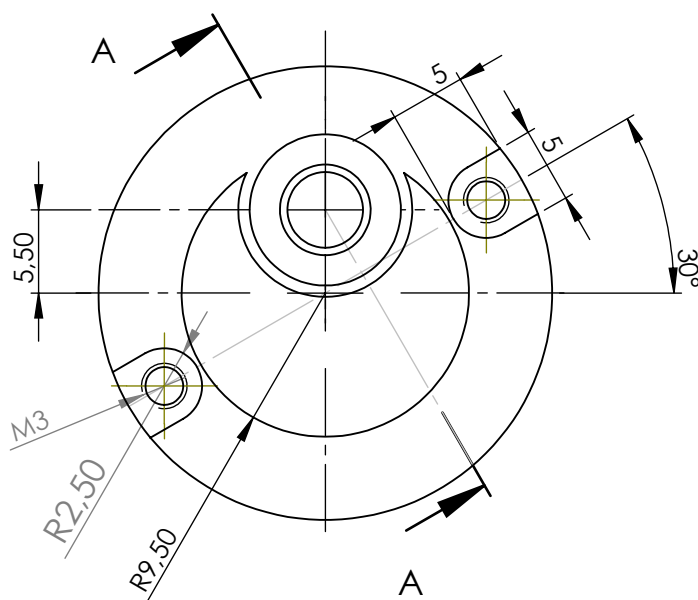
|  |                                    |  |   |
|--|------------------------------------|--|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Reductora</b> | Peça:<br><b>Eix extern de la reductora</b> | Plànol nº:<br><b>nº 1</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  | Quantitat: <b>1</b>                        |   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>           | Escala:<br><b>3:1</b>                      | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                    | Massa: <b>8.92 g</b>                       | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b>  |





DETALL B  
ESCALA 5 : 1

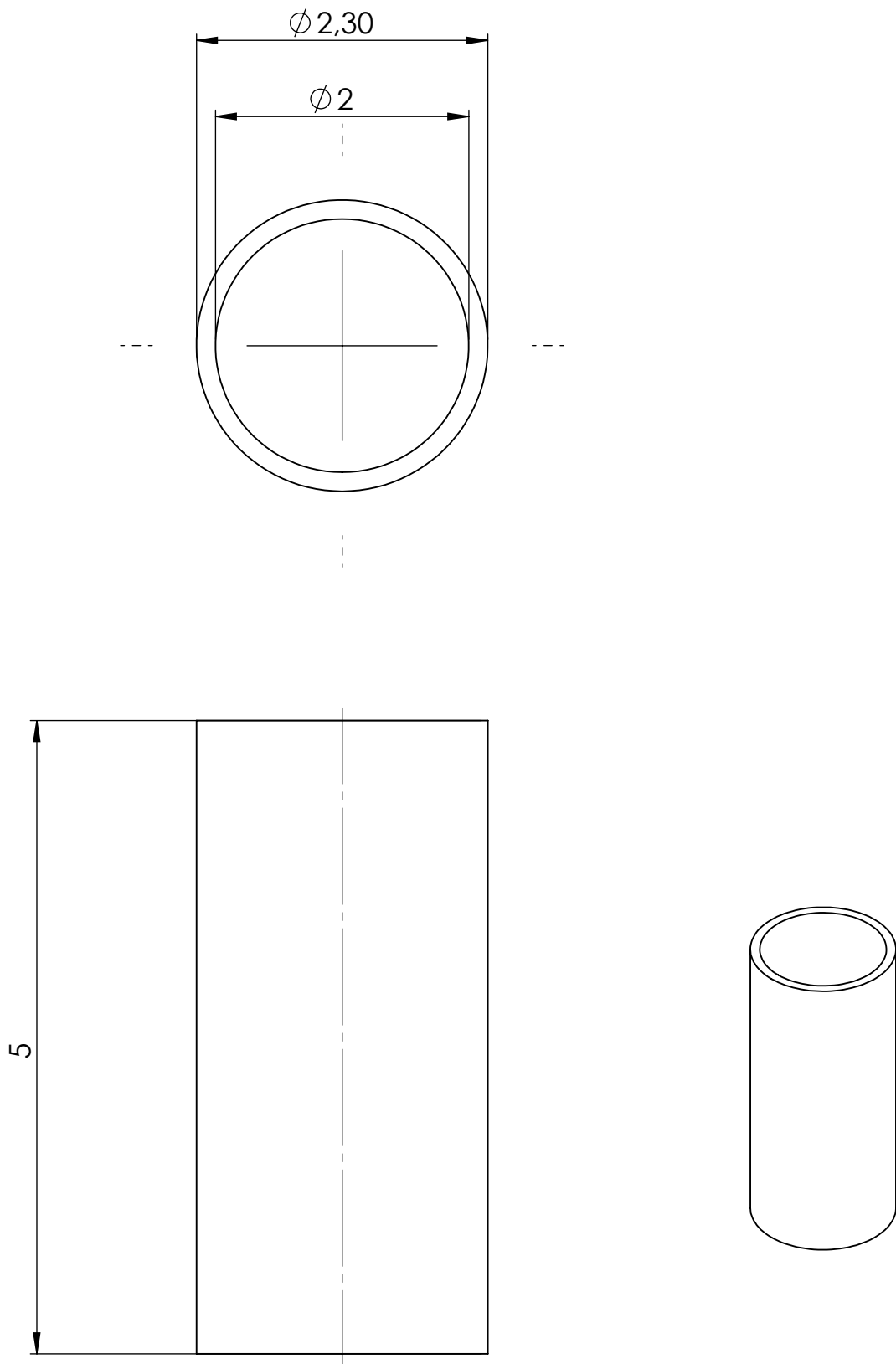




SECCIÓ A-A  
ESCALA 2 : 1

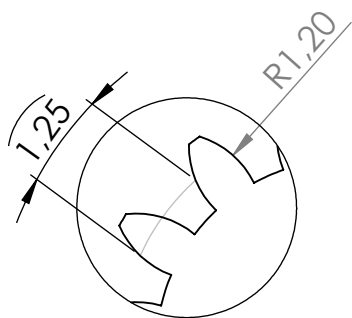
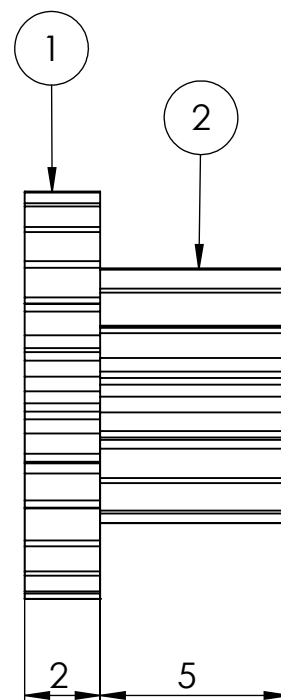
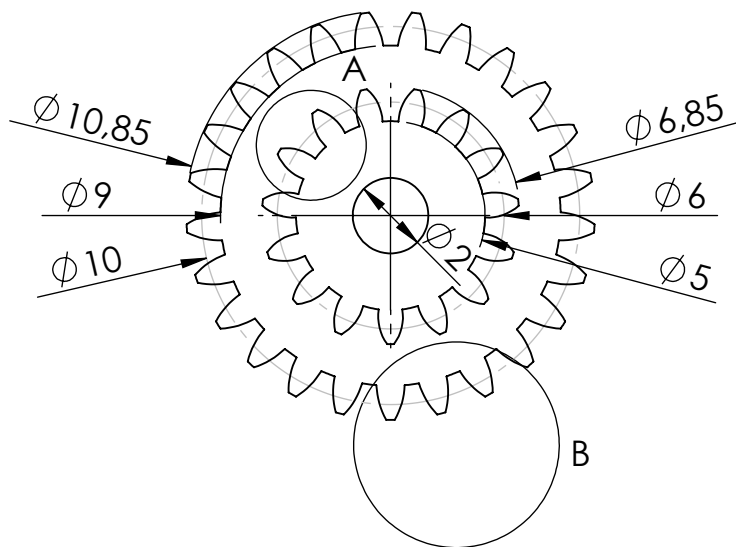


|   |  |                                    |  |  |  |  |  |   |  |
|---|--|------------------------------------|--|--|--|--|--|---|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  |  | Subassembatge:<br><b>Reductora</b> |  | Peça:<br><b>Carcassa de la reductora</b> |  | Plànol n°:<br><b>n° 2</b>                      |  |   |  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   |  |                                    |  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>        |  | Quantitat: <b>1</b>                            |  |   |  |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   |  |                                    |  | Format:<br><b>DIN A4</b>                 |  | Escala:<br><b>2:1</b>                          |  | Projecció:<br> |  |
| <br><b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</b><br><b>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</b> |  |                                    |  | Massa: <b>37.22 g</b>                    |  | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1020</b> |  |   |  |

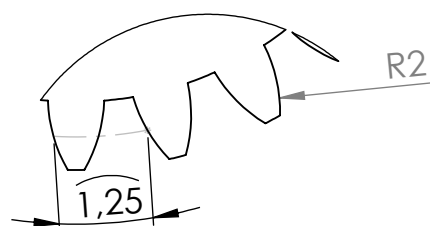




|   |                                    |  |   |
|---|------------------------------------|--|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Reductora</b> | Peça:<br><b>Cilindre de la reductora</b> | Plànol nº:<br><b>nº 3</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  |  | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>           | Escala:<br><b>20:1</b>                   | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                    | Massa: <b>0.04 g</b>                     | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b>  |

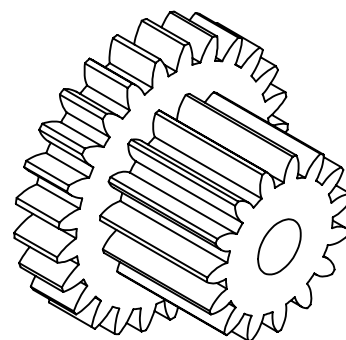


DETALL A  
ESCALA 10 : 1  
ENGRANATGE 2

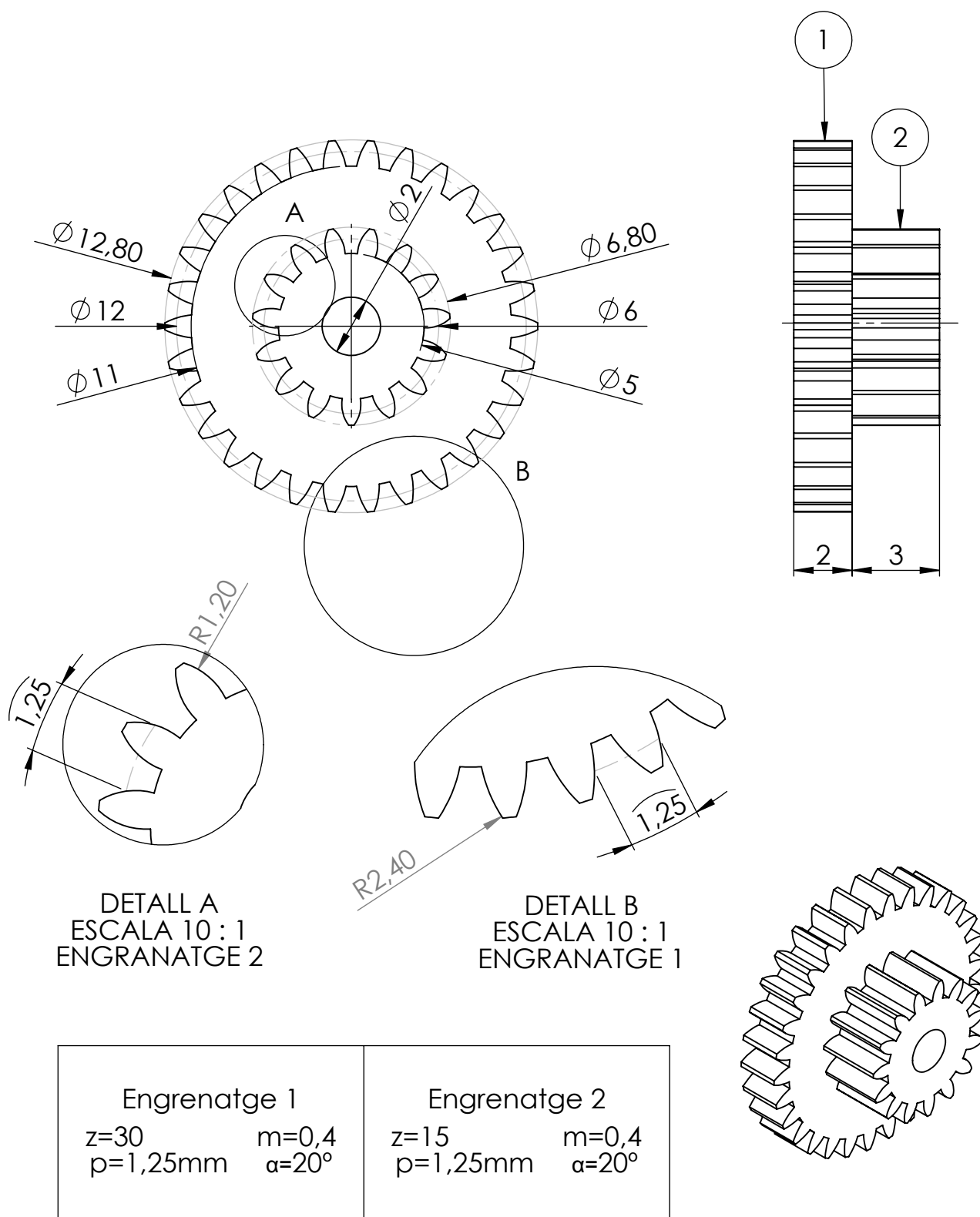




DETALL B  
ESCALA 10 : 1  
ENGRANATGE 1

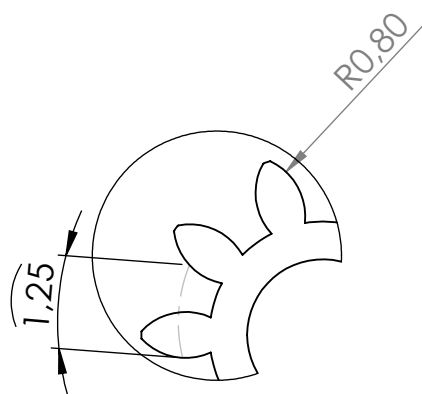
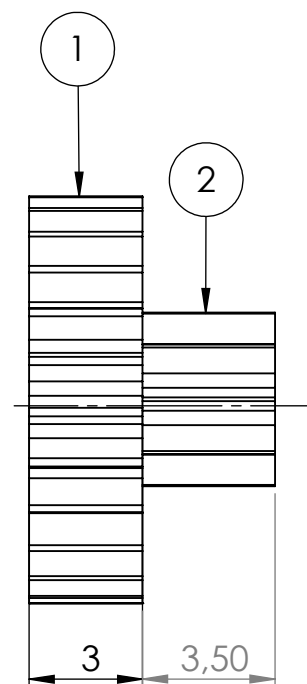
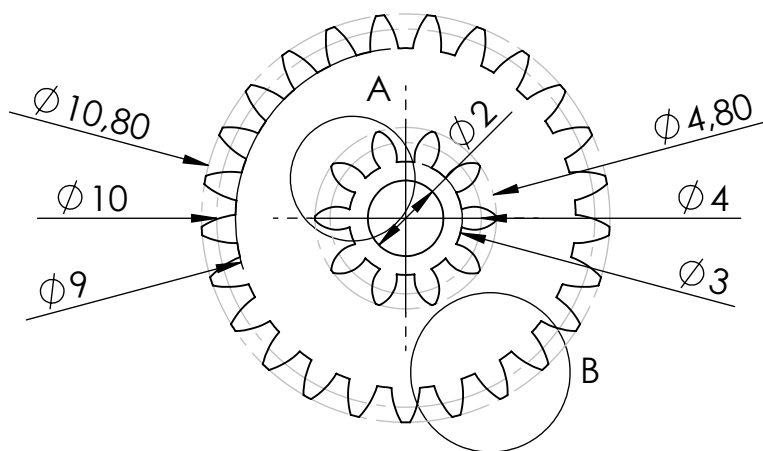
| Engrenatge 1  | Engrenatge 2  |
|---|---|
| $z=25$<br>$p=1,25\text{mm}$<br>$m=0,4$<br>$\alpha=20^\circ$ | $z=15$<br>$p=1,25\text{mm}$<br>$m=0,4$<br>$\alpha=20^\circ$ |



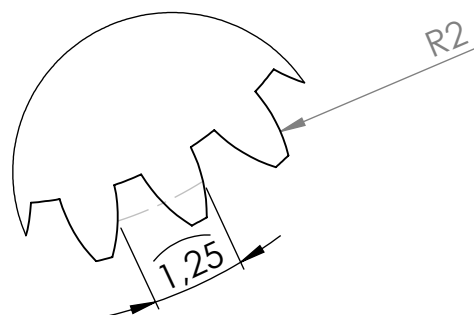
|  |                                    |                                       |  |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subasseblatge:<br><b>Reductora</b> | Peça:<br><b>Engrenatge reductor 1</b> | Plànol n°:<br><b>n° 4</b>                      |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  | Quantitat: <b>1</b>                   |  |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format: <b>DIN A4</b>              | Escala: <b>5:1</b>                    | Projecció:<br>                                 |
| <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br><b>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</b> |                                    | Massa: <b>2,13 g</b>                  | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b> |



|   |                                    |                                       |   |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Reductora</b> | Peça:<br><b>Engrenatge reductor 2</b> | Plànol nº:<br><b>nº 5</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  | Quantitat: <b>1</b>                   |   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>           | Escala:<br><b>5:1</b>                 | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                    | Massa: <b>2,29 g</b>                  | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b>  |

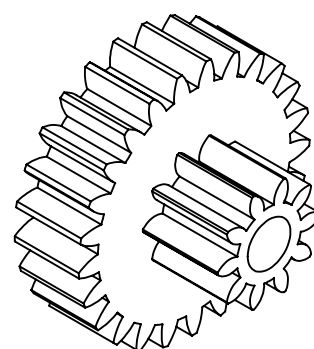


DETALL A  
ESCALA 10 : 1  
ENGRANATGE 2

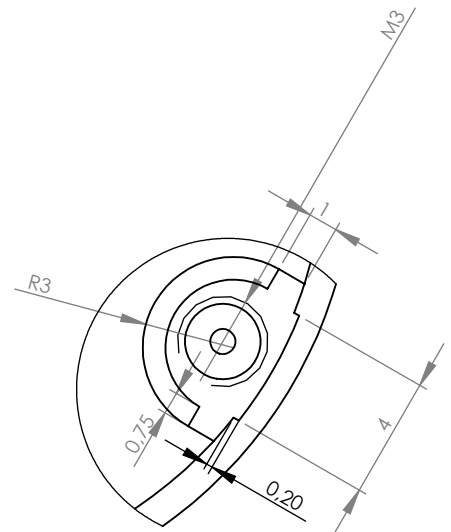
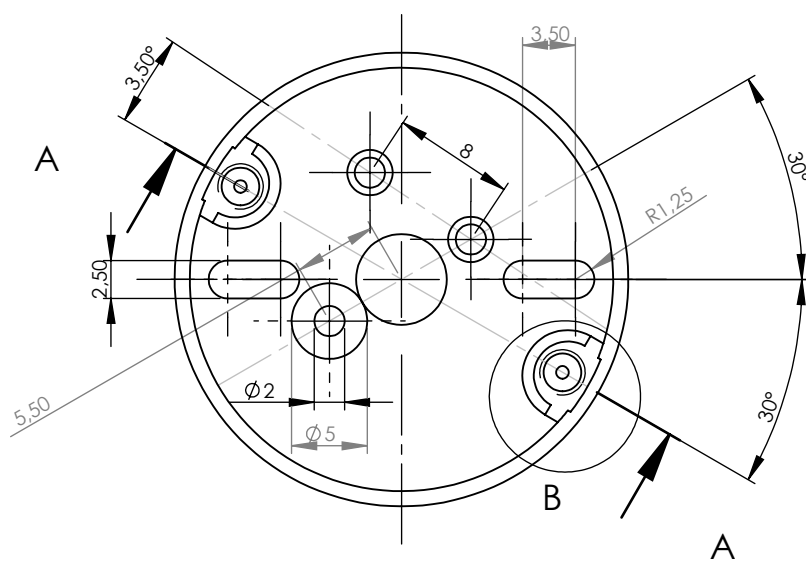
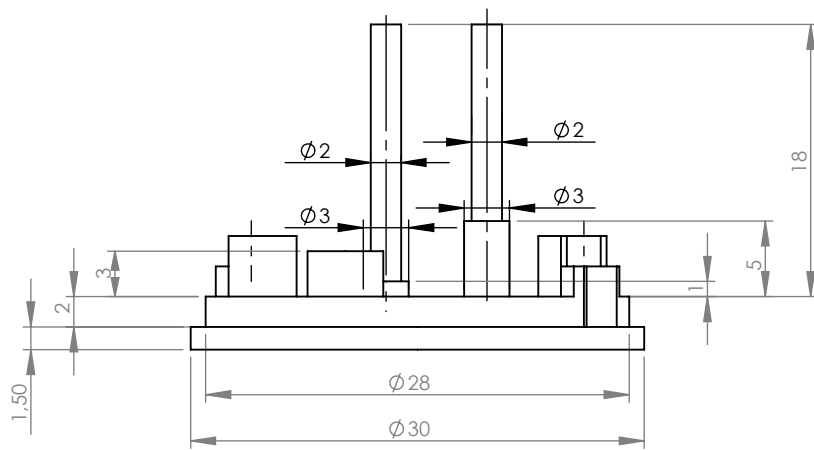


DETALL B  
ESCALA 10 : 1  
ENGRANATGE 1

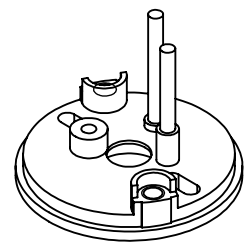
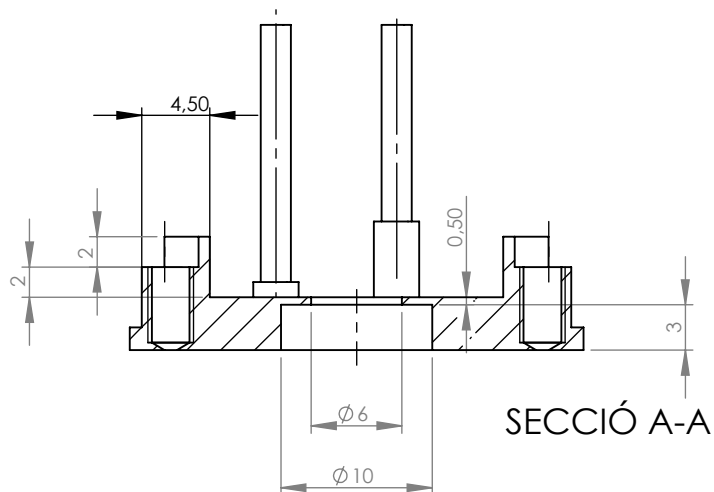
| Engrenatge 1      |                   | Engrenatge 2      |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $z=25$            | $m=0,4$           | $z=10$            | $m=0,4$           |
| $p=1,25\text{mm}$ | $\alpha=20^\circ$ | $p=1,25\text{mm}$ | $\alpha=20^\circ$ |





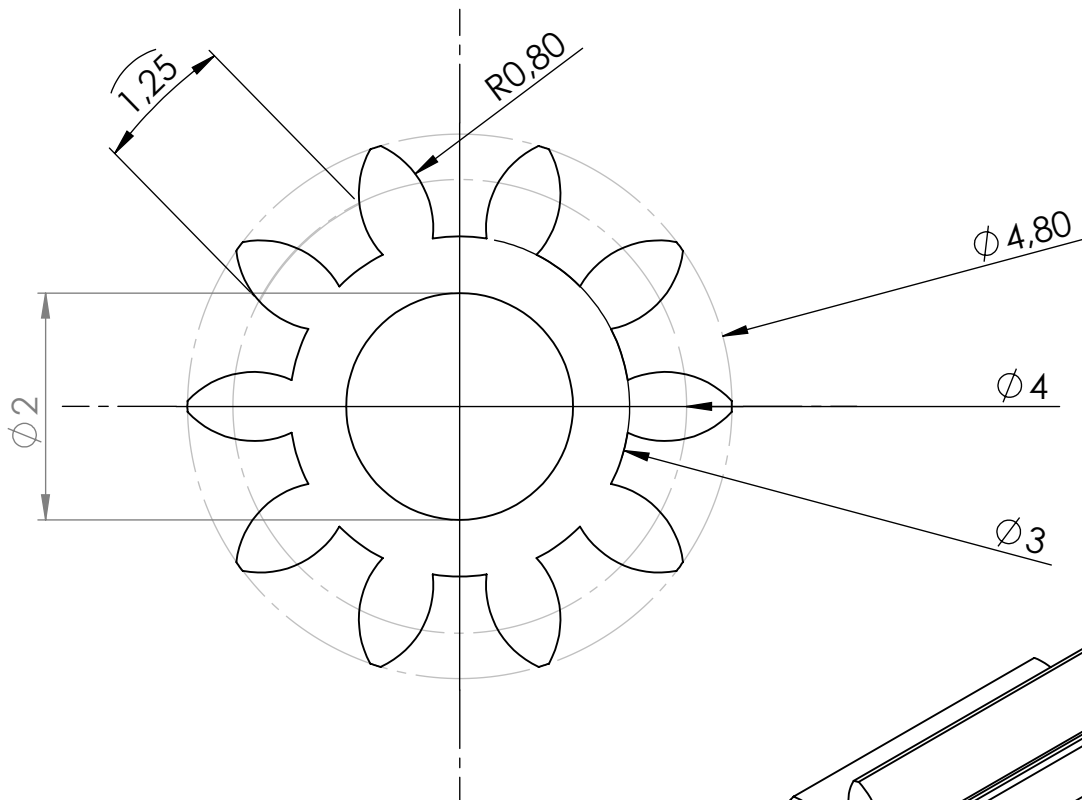
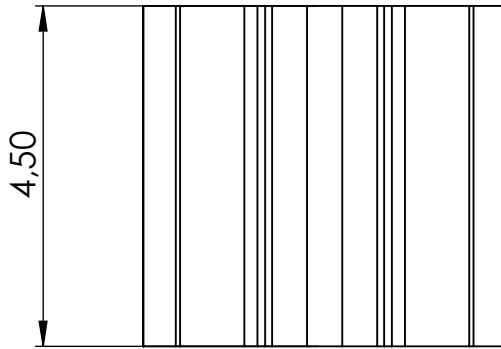
|   |  |                                    |                                       |  |
|---|--|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  |  | Subasseblatge:<br><b>Reductora</b> | Peça:<br><b>Engrenatge reductor 3</b> | Plànol nº:<br><b>nº 6</b>                      |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   |  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  |                                       | Quantitat: <b>1</b>                            |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   |  | Format:<br><b>DIN A4</b>           | Escala:<br><b>5:1</b>                 | Projecció:<br>                                 |
| <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  | Massa: <b>2,00 g</b>               |                                       | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b> |
|   |  |                                    |                                       |  |



DETALL B  
ESCALA 4 : 1

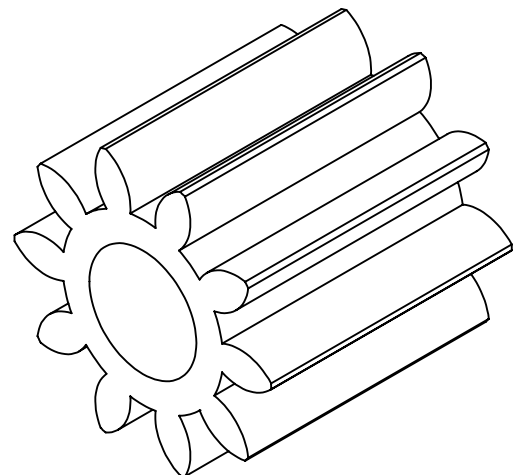




|   |                                    |  |   |
|---|------------------------------------|--|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subasseblatge:<br><b>Reductora</b> | Peça:<br><b>Xassís de la reductora</b> | Plànol nº:<br><b>nº 7</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  | Quantitat: <b>1</b>                    |   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>           | Escala:<br><b>2:1</b>                  | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                    | Massa: <b>17,46 g</b>                  | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1020</b>  |

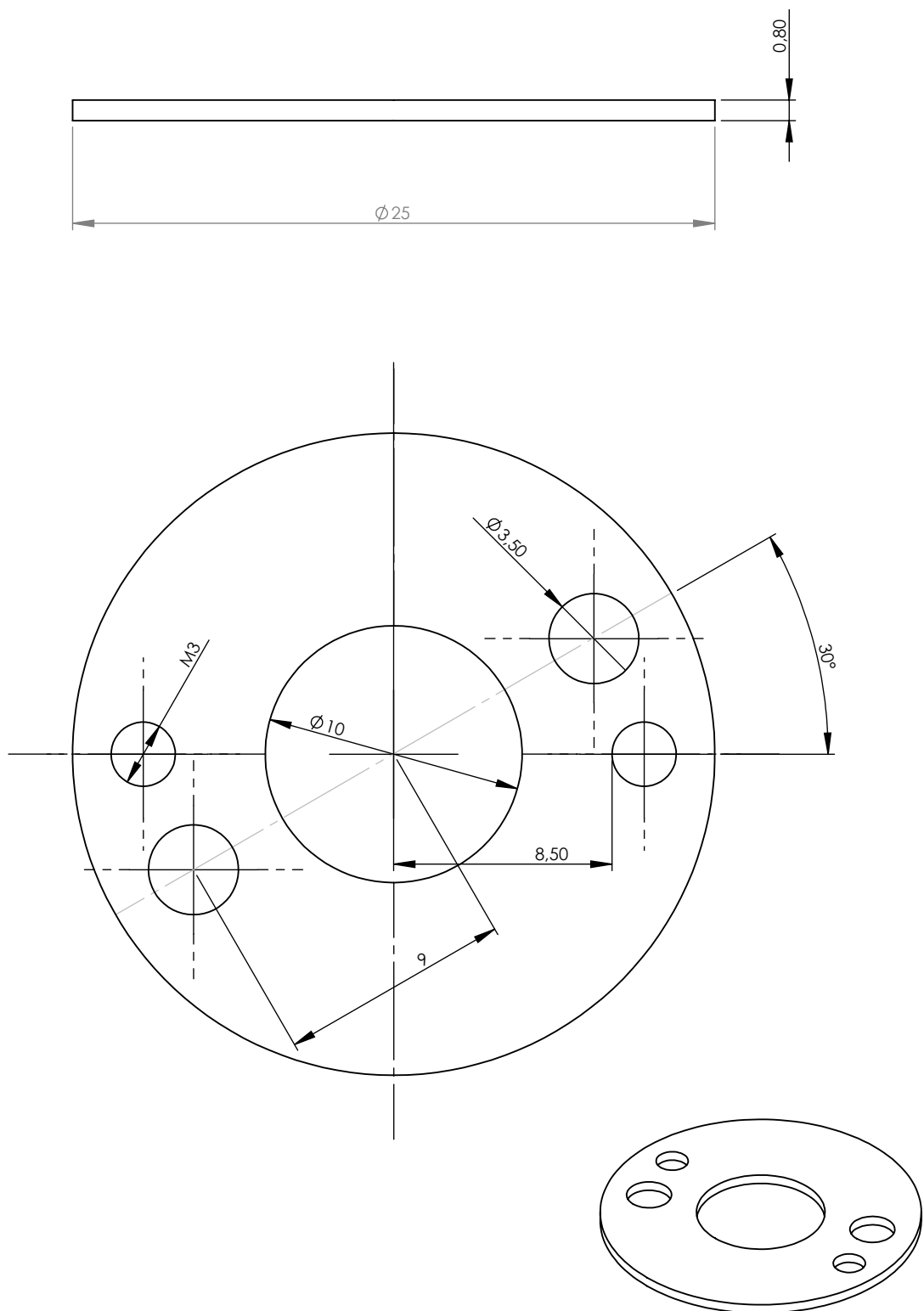




$z=10$   
 $p=1,25\text{mm}$

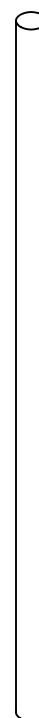
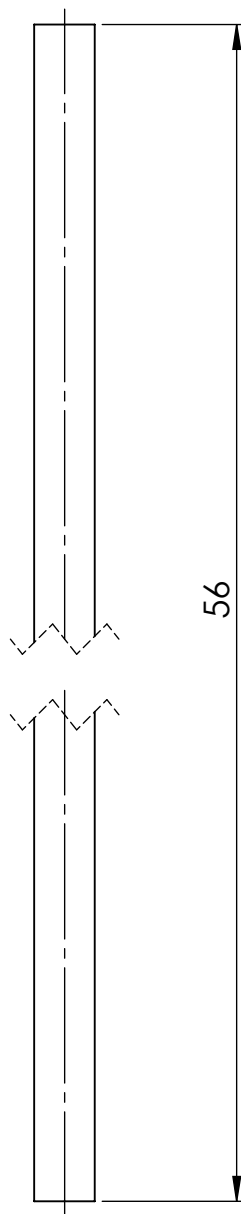
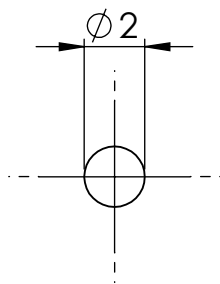
$m=0,4$   
 $\alpha=20^\circ$





|  |                                   |                                   |  |                           |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subasseblatge:<br><b>Motor</b>    | Peça: <b>Engranatge eix rotor</b> |  | Plànol nº:<br><b>nº 8</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                   | Quantitat: <b>1</b>  |                           |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>10:1</b>            | Projecció:  |                           |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,32 g</b>              | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b>   |                           |

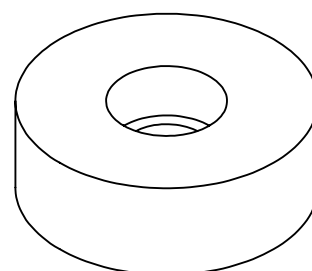
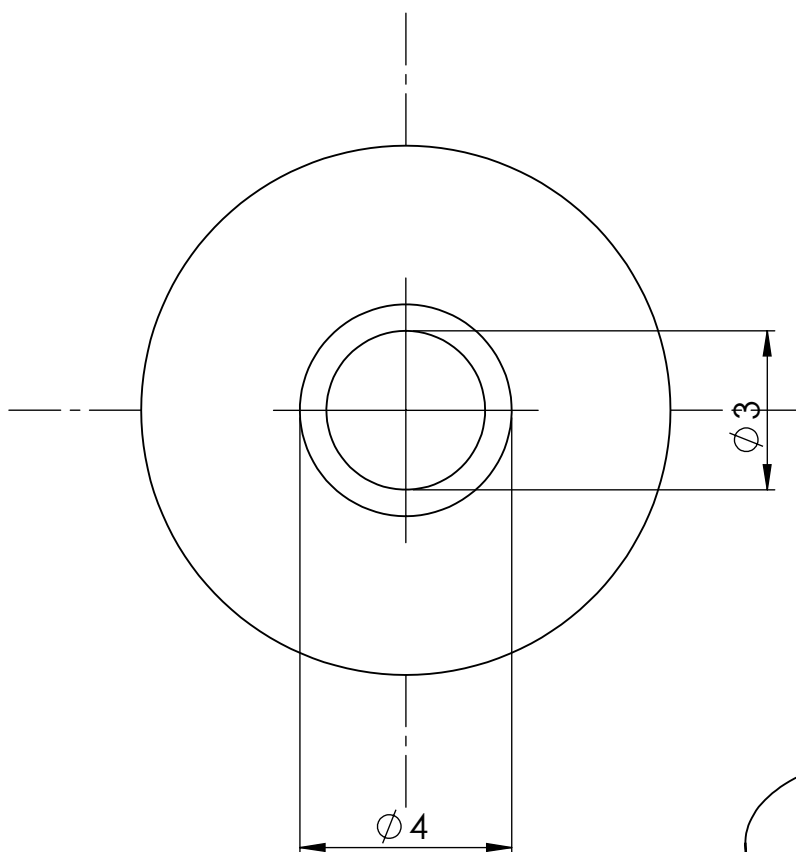
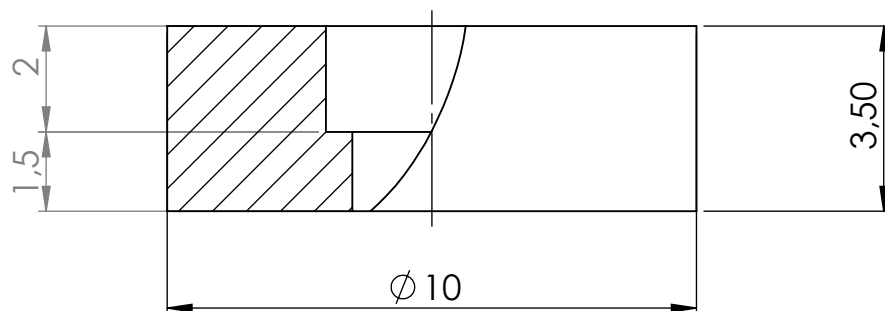




|   |                                   |                                |   |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassembatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Disc separador</b> | Plànol nº:<br><b>nº 9</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>4:1</b>          | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>2,02 g</b>           | Material: <b>Zinc AC43A</b>   |

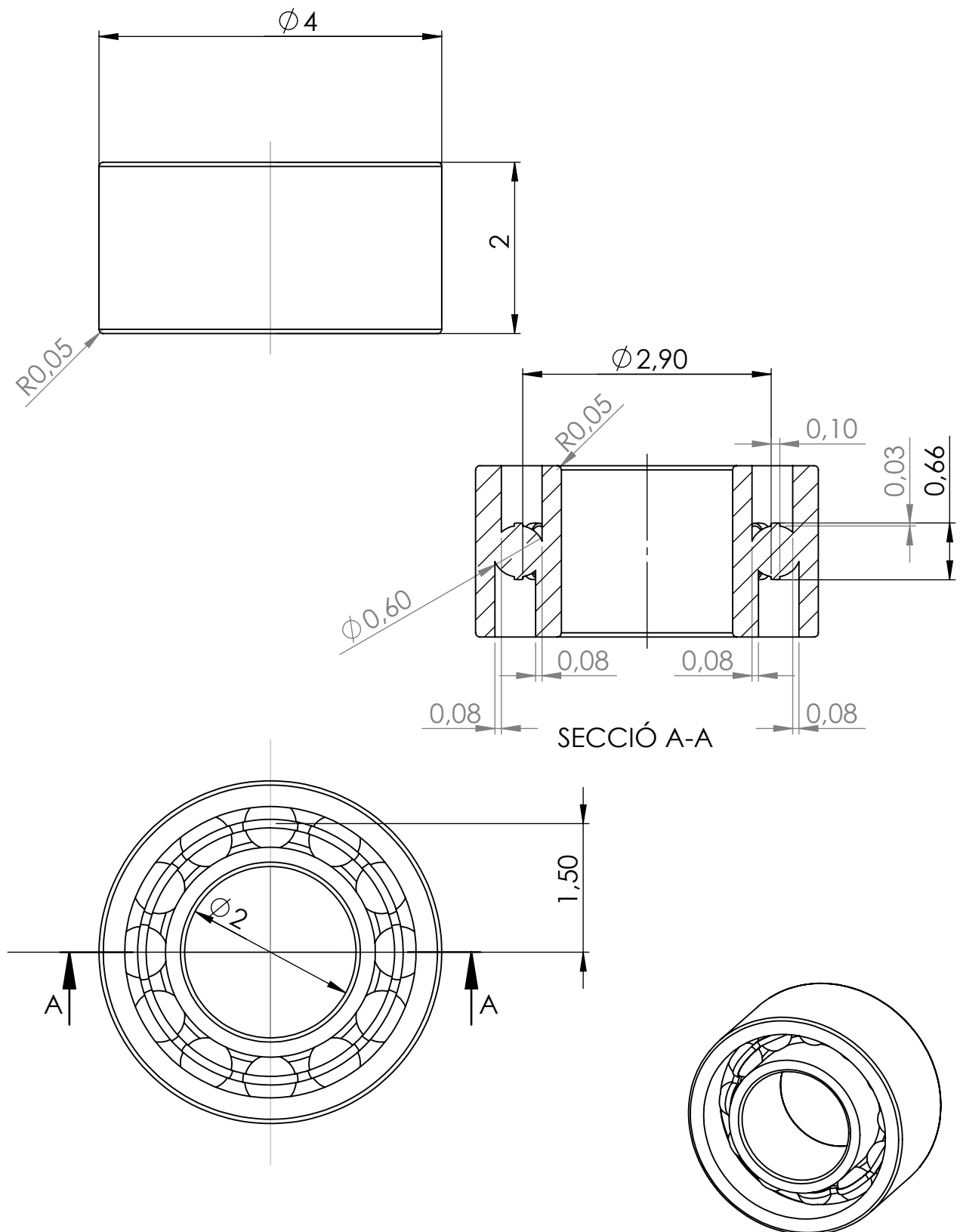




|  |                                   |                            |  |                            |
|--|-----------------------------------|----------------------------|--|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subasseblatge:<br><b>Motor</b>    | Peça: <b>Eix del rotor</b> |  | Plànol nº:<br><b>nº 10</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                            | Quantitat: <b>1</b>  |                            |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>4:1</b>      | Projecció:  |                            |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>1,41 g</b>       | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1045</b>   |                            |

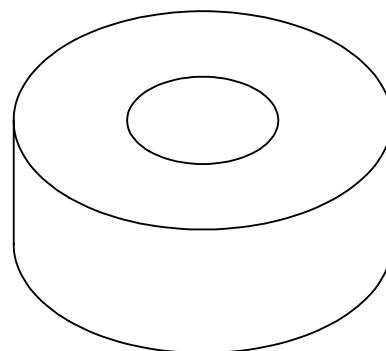
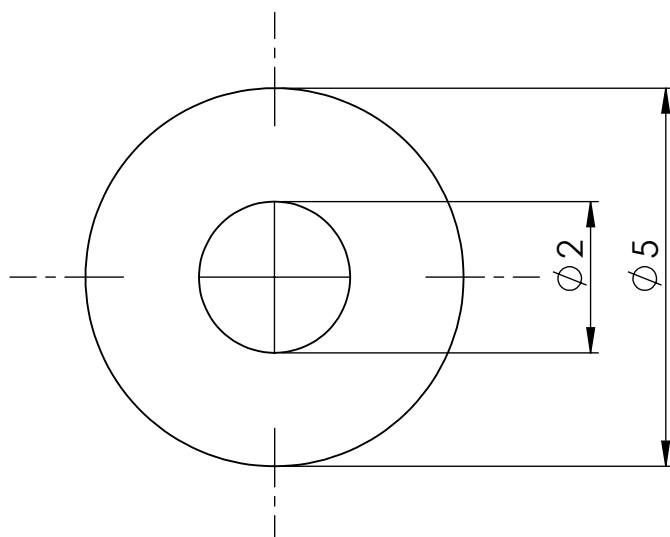
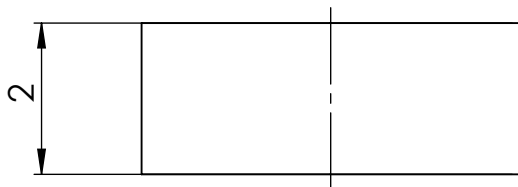






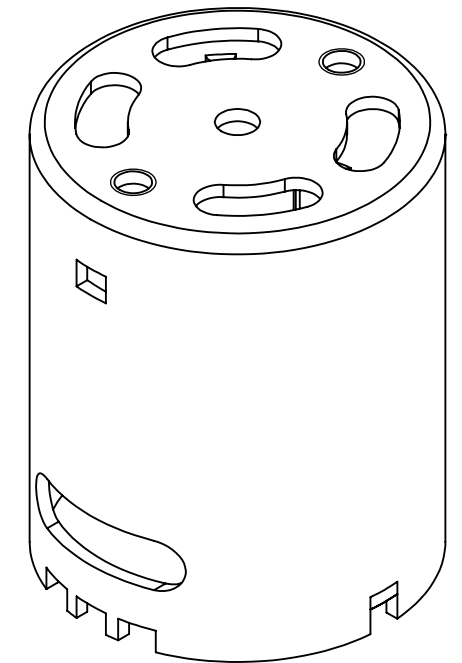
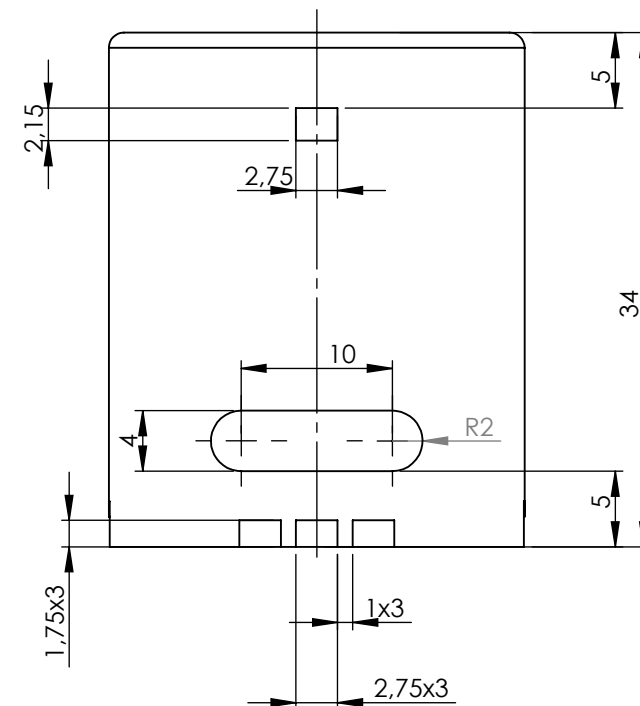
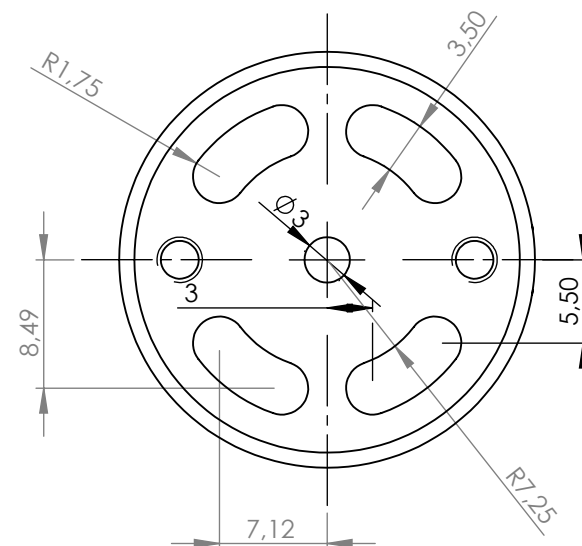
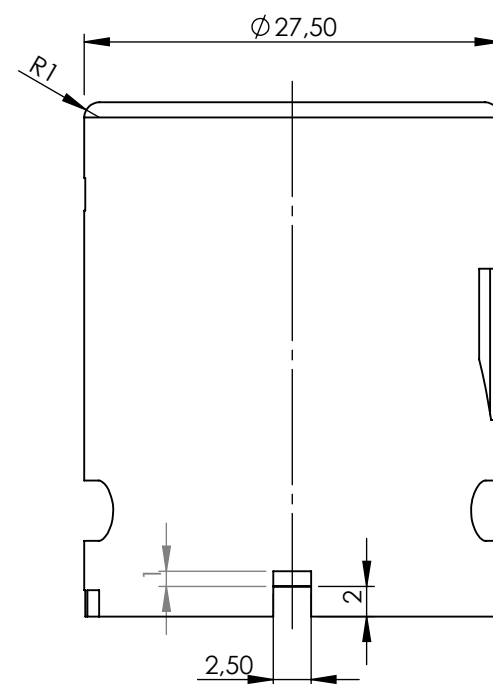
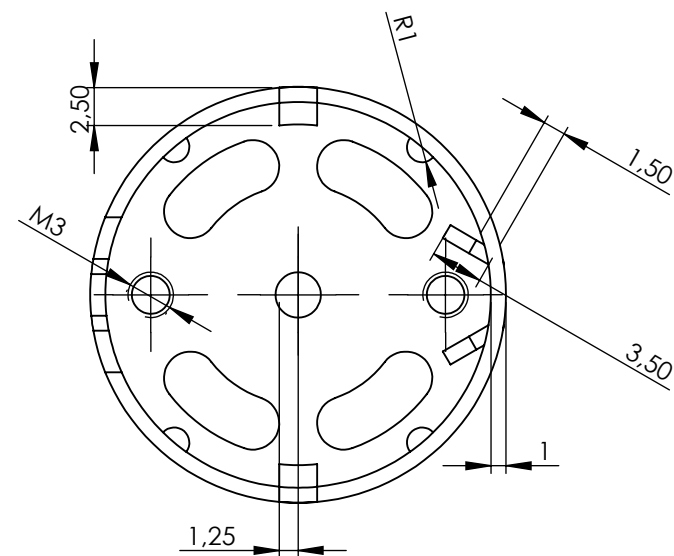
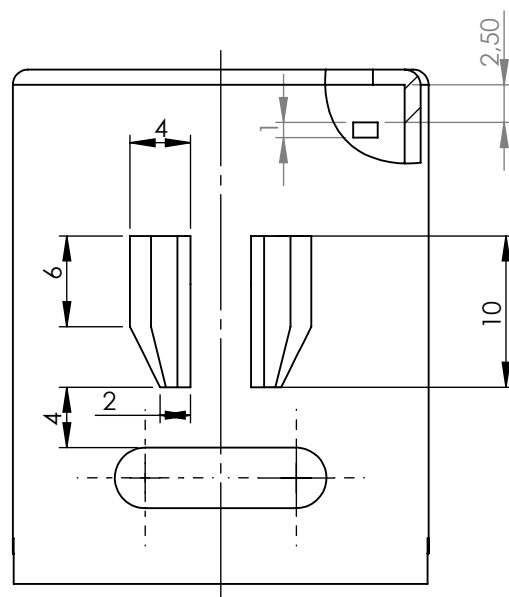
|   |                                   |   |   |
|---|-----------------------------------|---|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subasseblatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Cilindre del coixinet del rotor</b> | Plànol n°:<br><b>n° 11</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>7:1</b>                           | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>2.02 g</b>                            | Material: <b>Llautó</b>   |





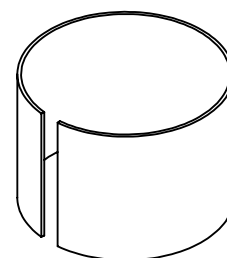
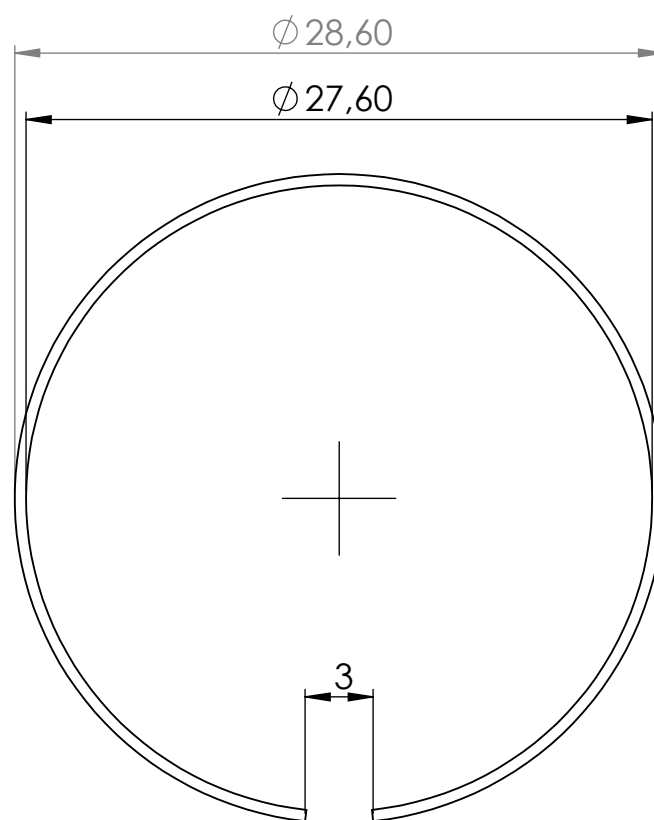
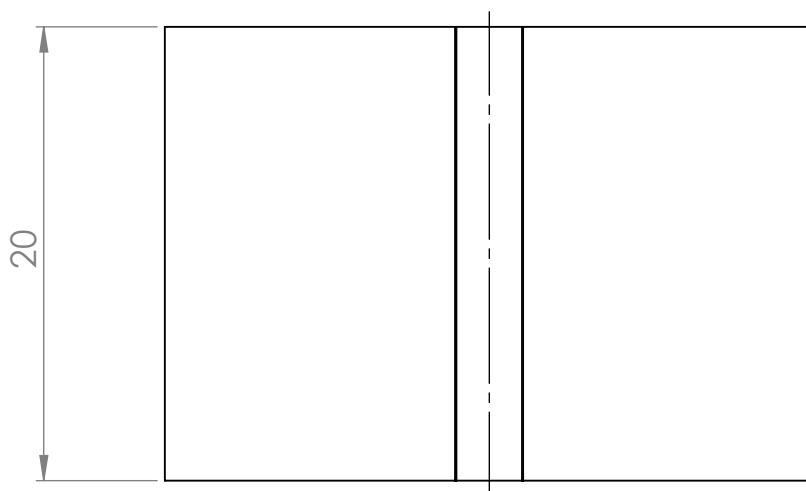
|   |                                   |   |   |
|---|-----------------------------------|---|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça: <b>Coixinet de l'eix rotor<br/>(ISO 15 ABB-137)</b> | Plànol nº:<br><b>nº 12</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> | Quantitat: <b>1</b>                                       |   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>15:1</b>                                    | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0.089 g</b>                                     | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1035</b>  |





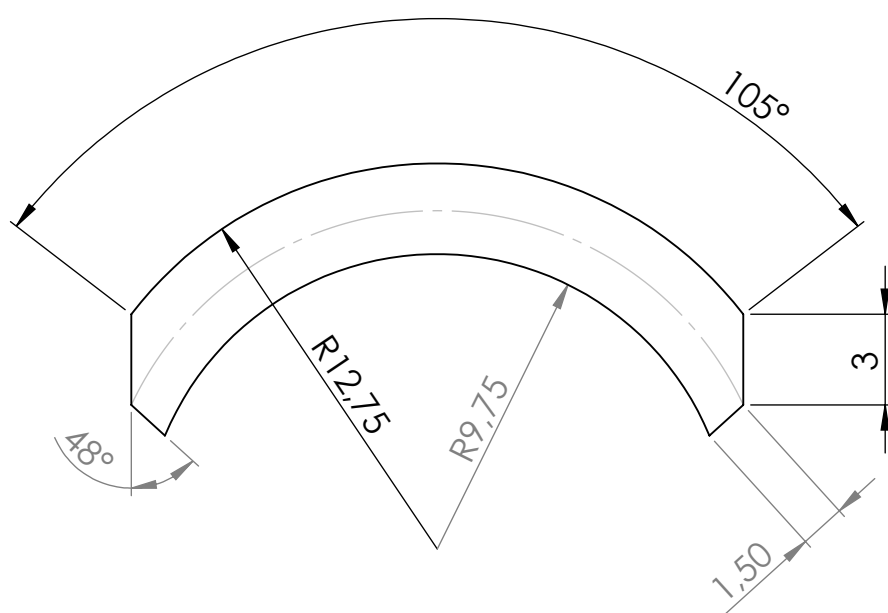
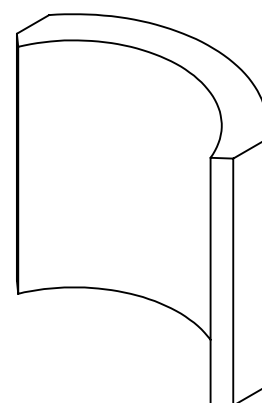
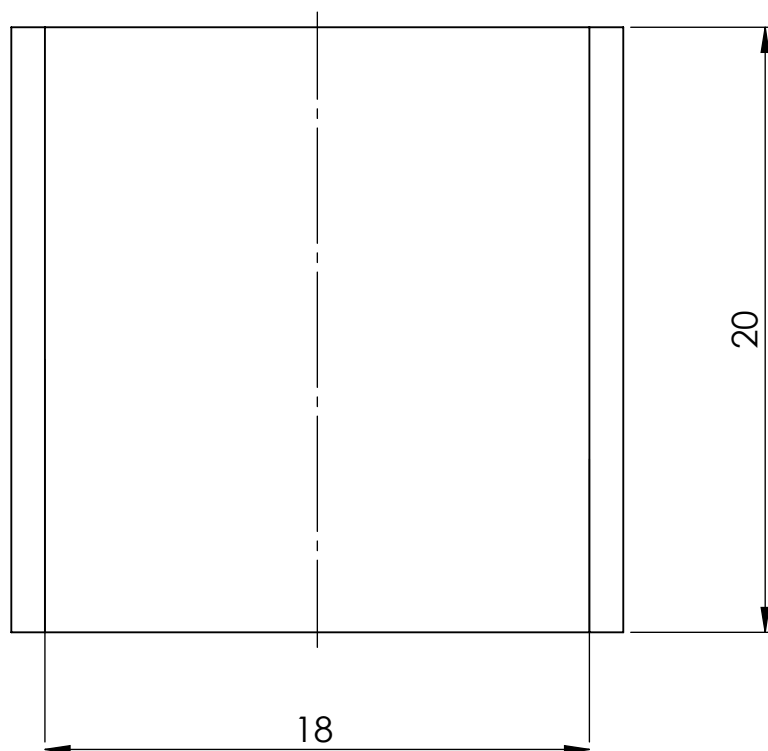
|   |                                   |   |   |
|---|-----------------------------------|---|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassembatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Cilindre limitador de l'eix rotor</b> | Plànol nº:<br><b>nº 12</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>10:1</b>                            | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,28 g</b>                              | Material: <b>Acer inoxidable<br/>AISI 1035</b>  |



|   |                                   |                                    |  |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassembles:<br><b>Motor</b>     | Peça:<br><b>Carcassa del motor</b> | Plànol n°:<br><b>n° 14</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> | Quantitat: <b>1</b>                |  |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format: <b>DIN A3</b>             | Escala: <b>2:1</b>                 | Projecció:  |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>24,02 g</b>              | Material: <b>Acer inoxidable AISI 1020</b>   |



|  |                                   |  |  |                            |
|--|-----------------------------------|--|--|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subasseblatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Cèrcol extern de la carcassa</b> |  | Plànol n°:<br><b>n° 16</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |  | Quantitat: <b>1</b>  |                            |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>3:1</b>                        | Projecció:  |                            |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>6,71 g</b>                         | Material: <b>Alumini</b>   |                            |

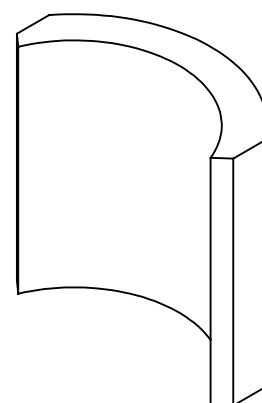
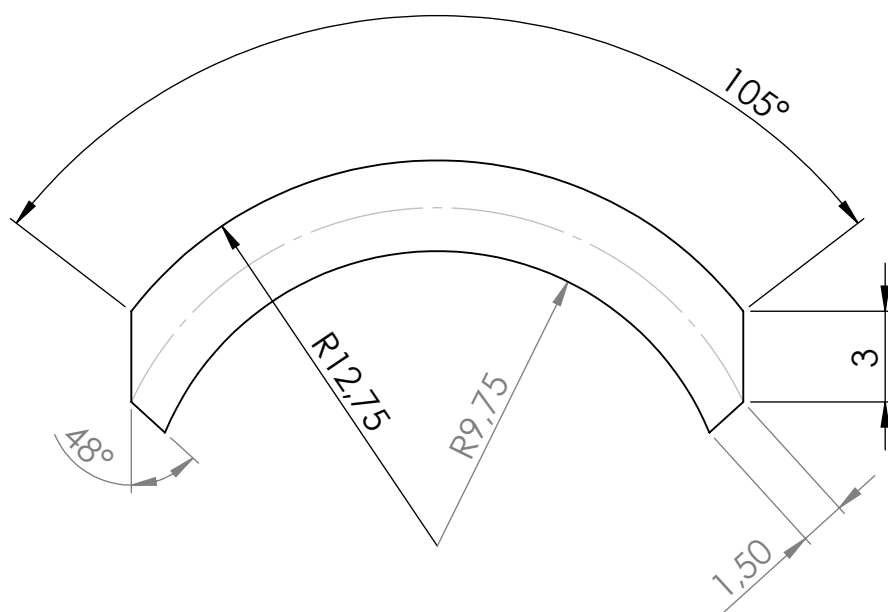
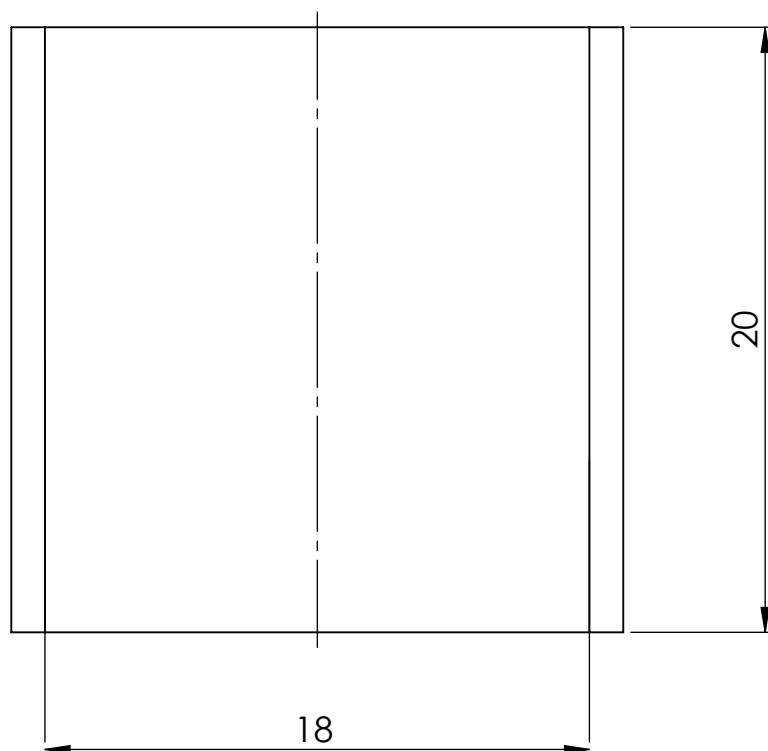


NORD

Magentització  
diametral

SUD



|   |                                   |                                      |   |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Imant de l'estator 1</b> | Plànol n°:<br><b>n° 16</b>                                      |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> | Quantitat: <b>1</b>                  | <div data-bbox="1374 2063 1541 2119" data-label="Image"> </div> |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>4:1</b>                |   |
| <div data-bbox="165 2096 293 2175" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="304 2096 839 2175" data-label="Text"> <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH<br/>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</p> </div> |                                   | Massa: <b>11,30 g</b>                | Material: <b>Ferrita Bonded</b>                                 |

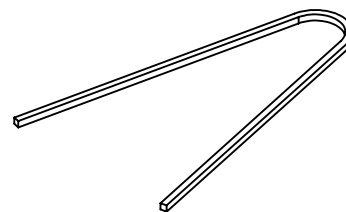
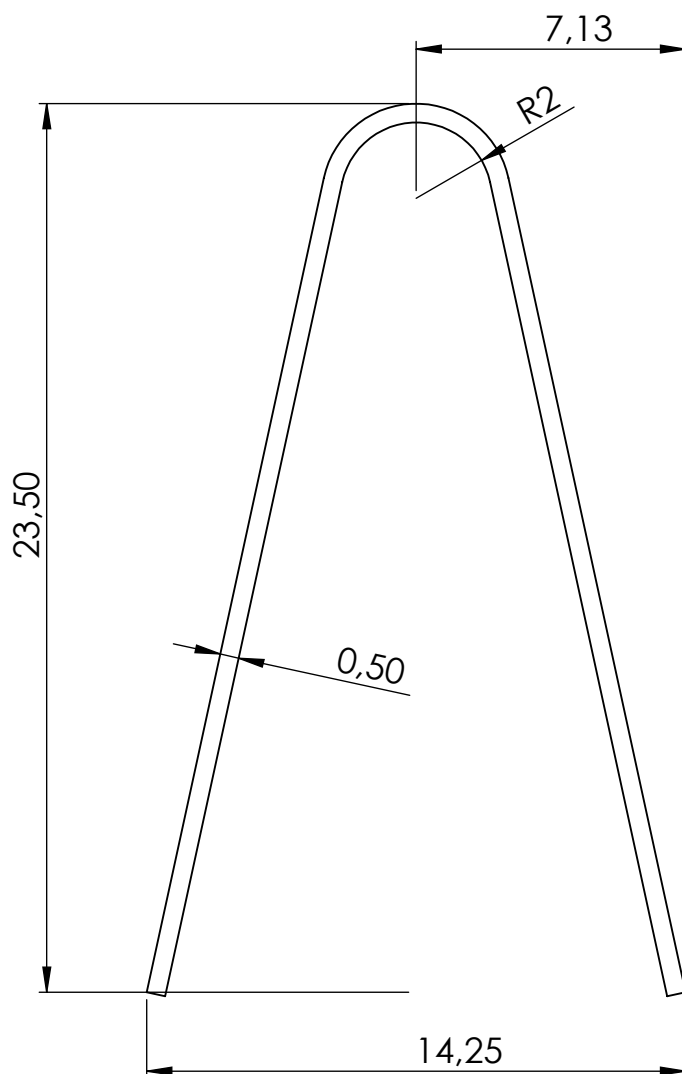
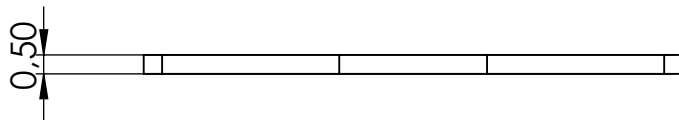




SUD

Magentització  
diametral

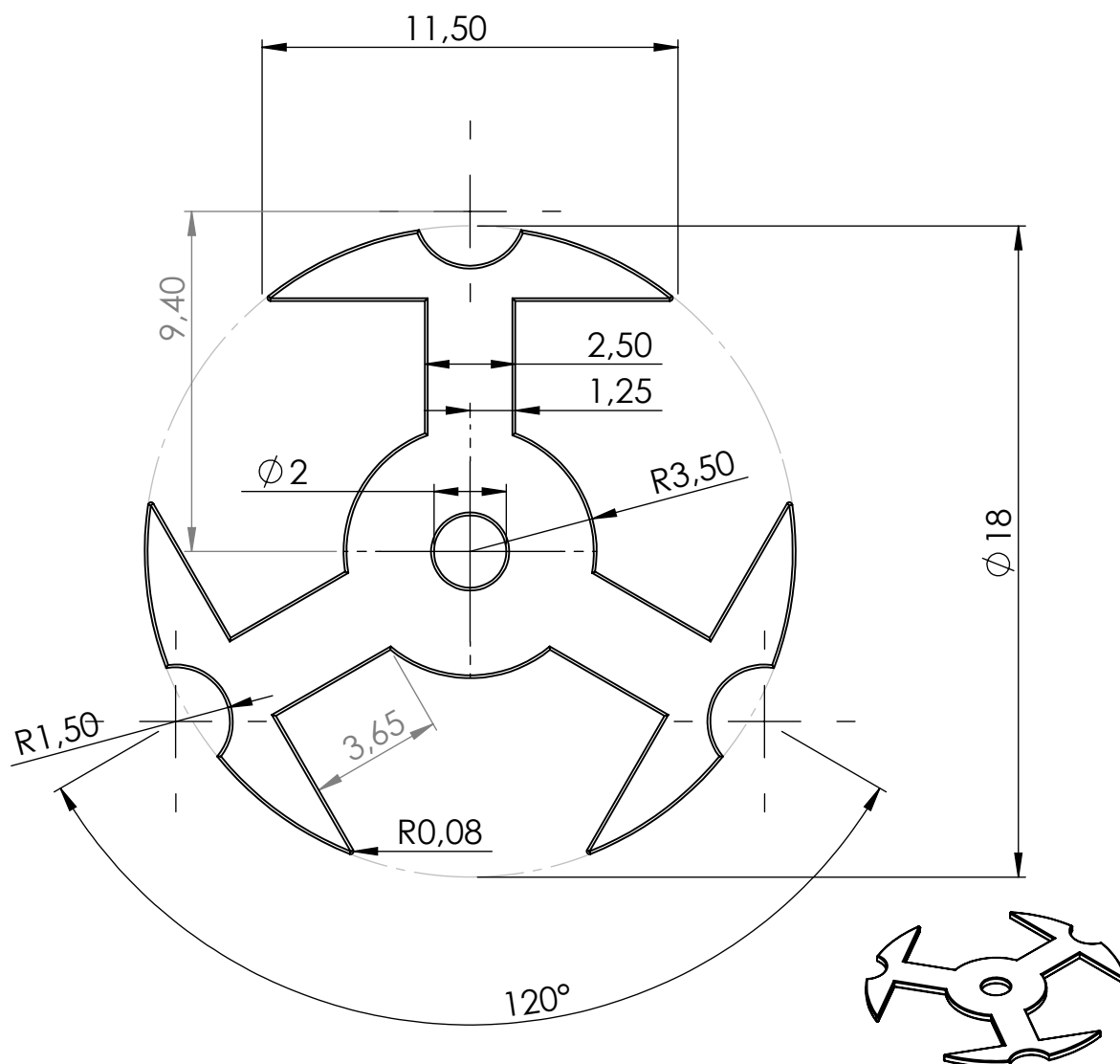
NORD



|   |                                   |                                      |  |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Imant de l'estator 2</b> | Plànol n°:<br><b>n° 17</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> | Quantitat: <b>1</b>                  | Projectió:  |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>4:1</b>                |  |
|  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>11,30 g</b>                | Material: <b>Ferrita Bonded</b>  |

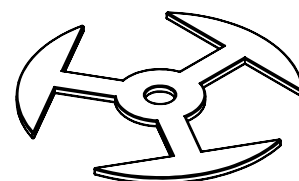
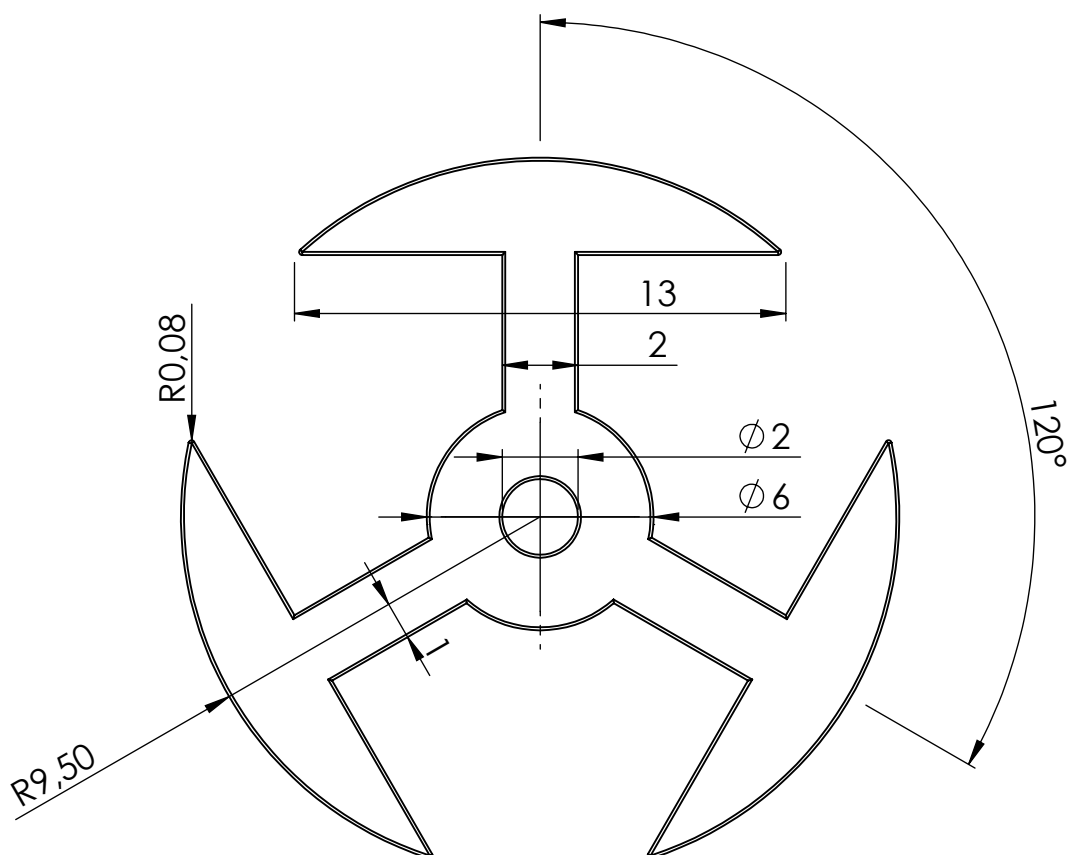
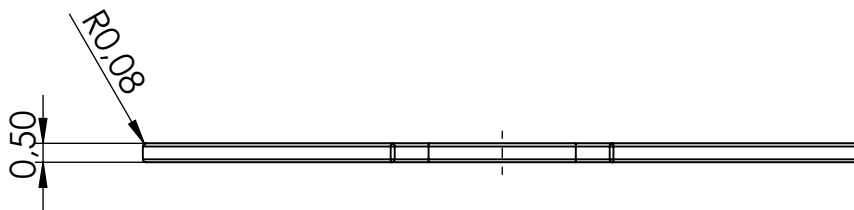




|  |                                   |                                 |  |                            |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça: <b>Pinça de l'estator</b> |  | Plànol n°:<br><b>n° 18</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                 | Quantitat: <b>1</b>  |                            |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>5:1</b>           | Projecció:  |                            |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,10 g</b>            | Material: <b>Alumini</b>   |                            |

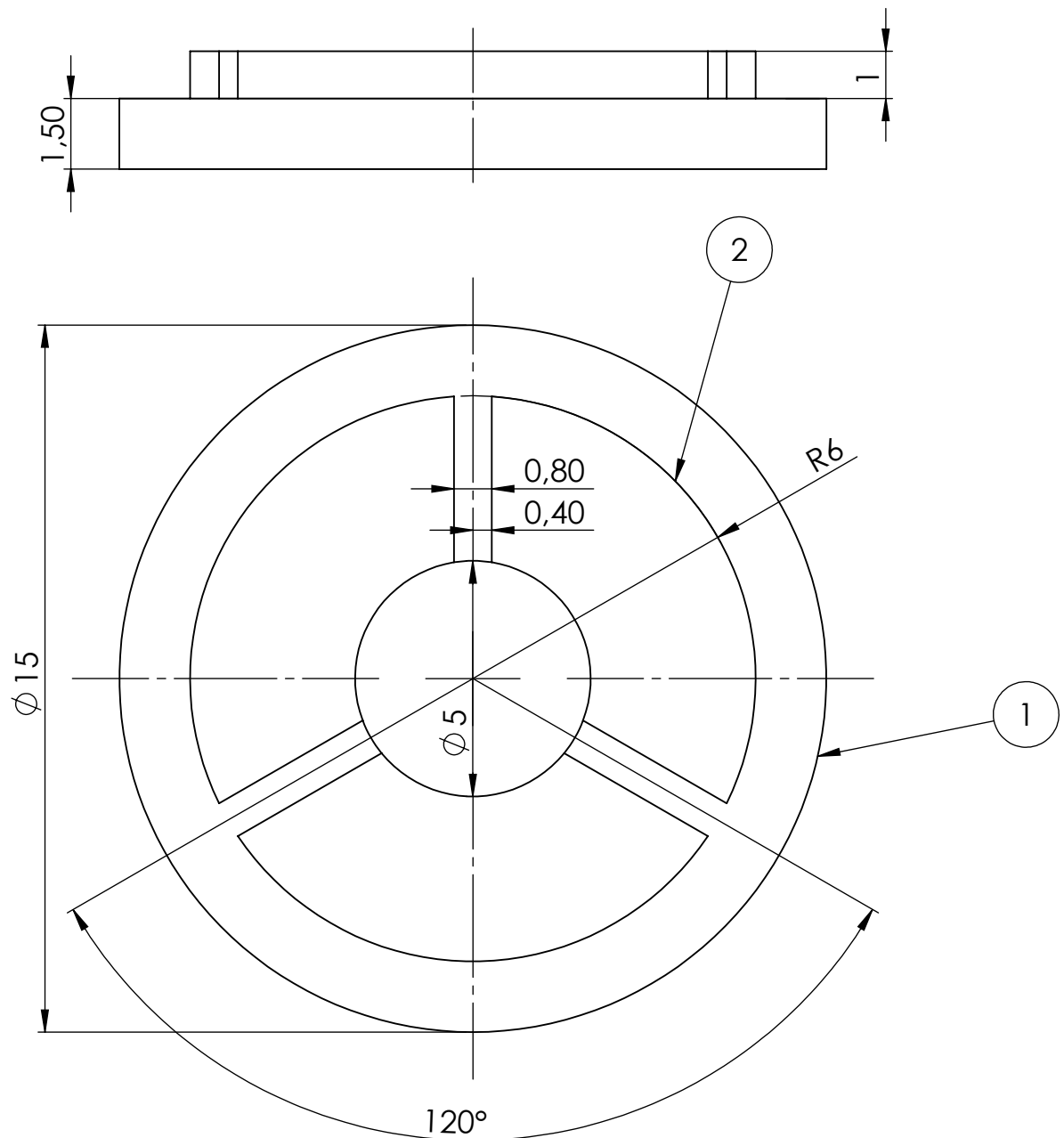




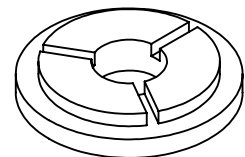
|  |                                   |   |   |
|--|-----------------------------------|---|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Tapa de les làmines del rotor</b> | Plànol n°:<br><b>n° 19</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>2</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>5:1</b>                         | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,05 g</b>                          | Material: <b>ABS (Polímer)</b>  |





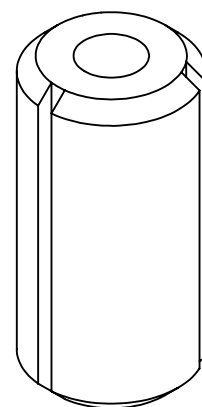
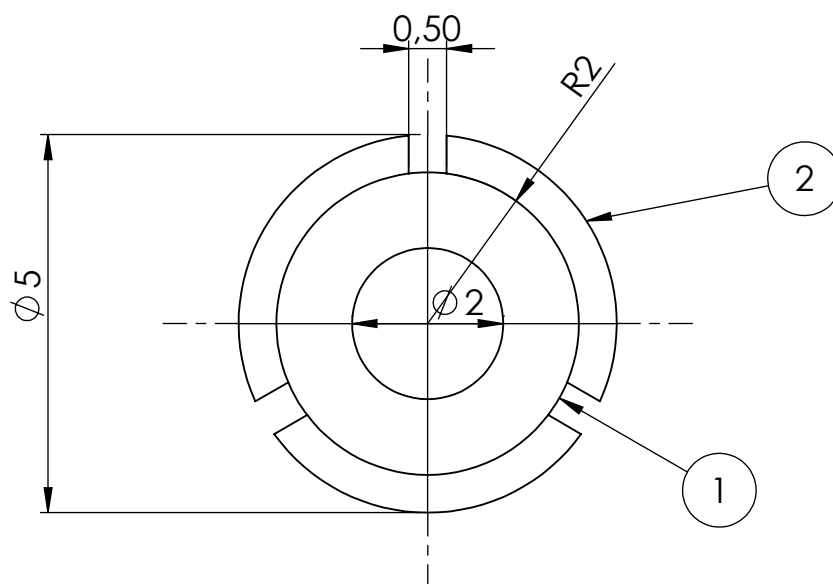
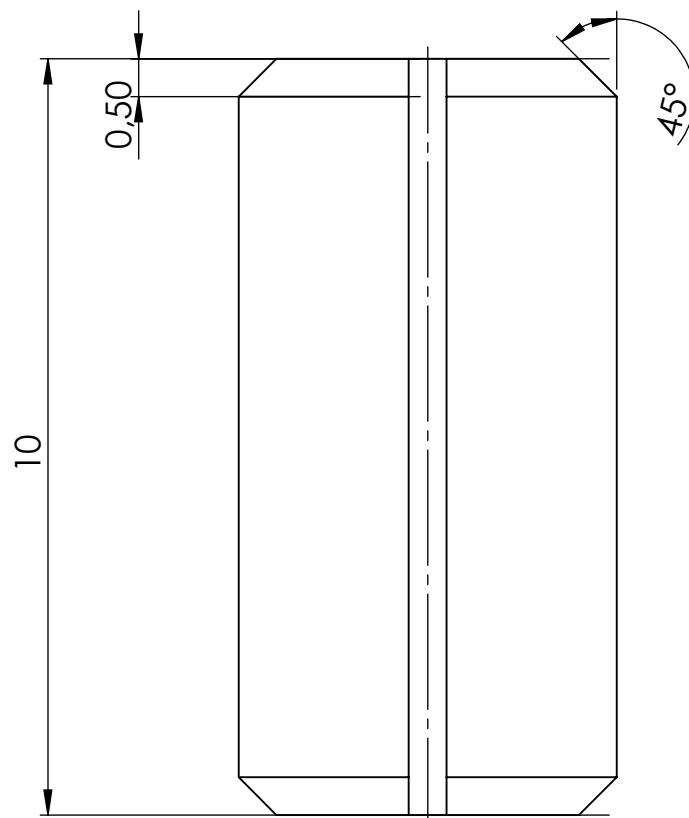
|  |                                   |                                |  |                            |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça: <b>Làmines del rotor</b> |  | Plànol n°:<br><b>n° 20</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                | Quantitat: <b>35</b>   |                            |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>5:1</b>          | Projecció:  |                            |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,42 g</b>           | Material: <b>Làmines de ferro colat</b>  |                            |




|   |       |
|---|-------|
| 1 | ABS   |
| 2 | Coure |

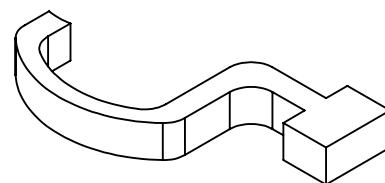
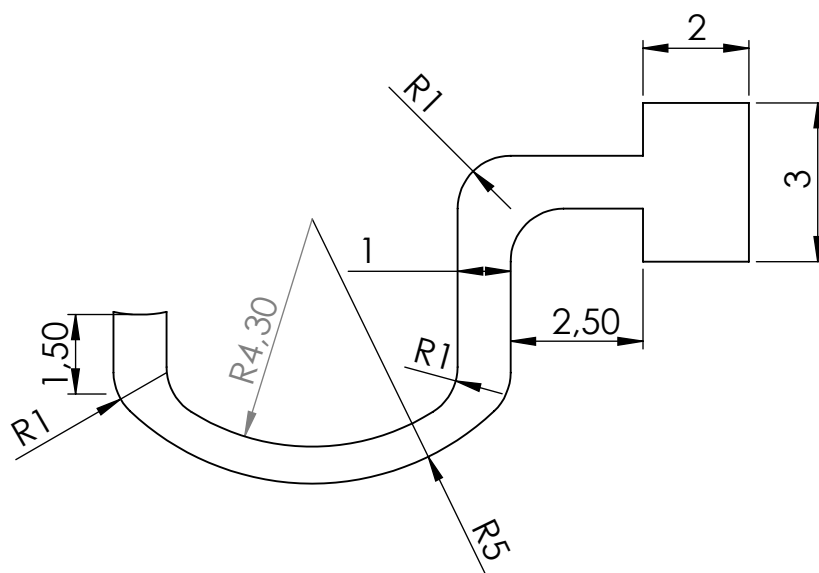
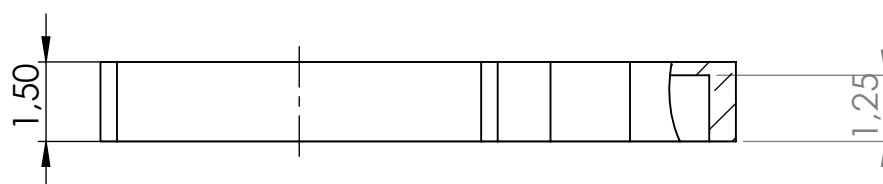
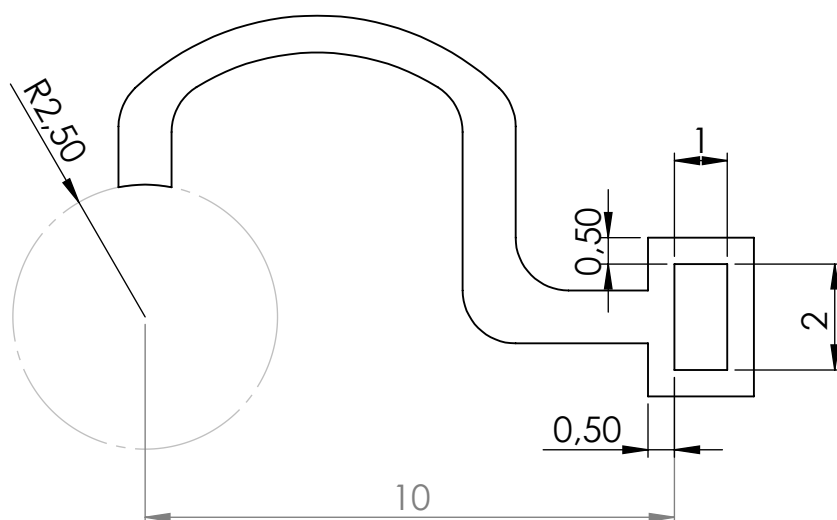




|   |  |                                   |                                     |   |
|---|--|-----------------------------------|-------------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  |  | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Col·lector elèctric</b> | Plànol n°:<br><b>n° 21</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   |  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                     | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   |  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>7:1</b>               | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  |                                   | Massa: <b>2,85 g</b>                | Material: <b>Coure i ABS</b>  |

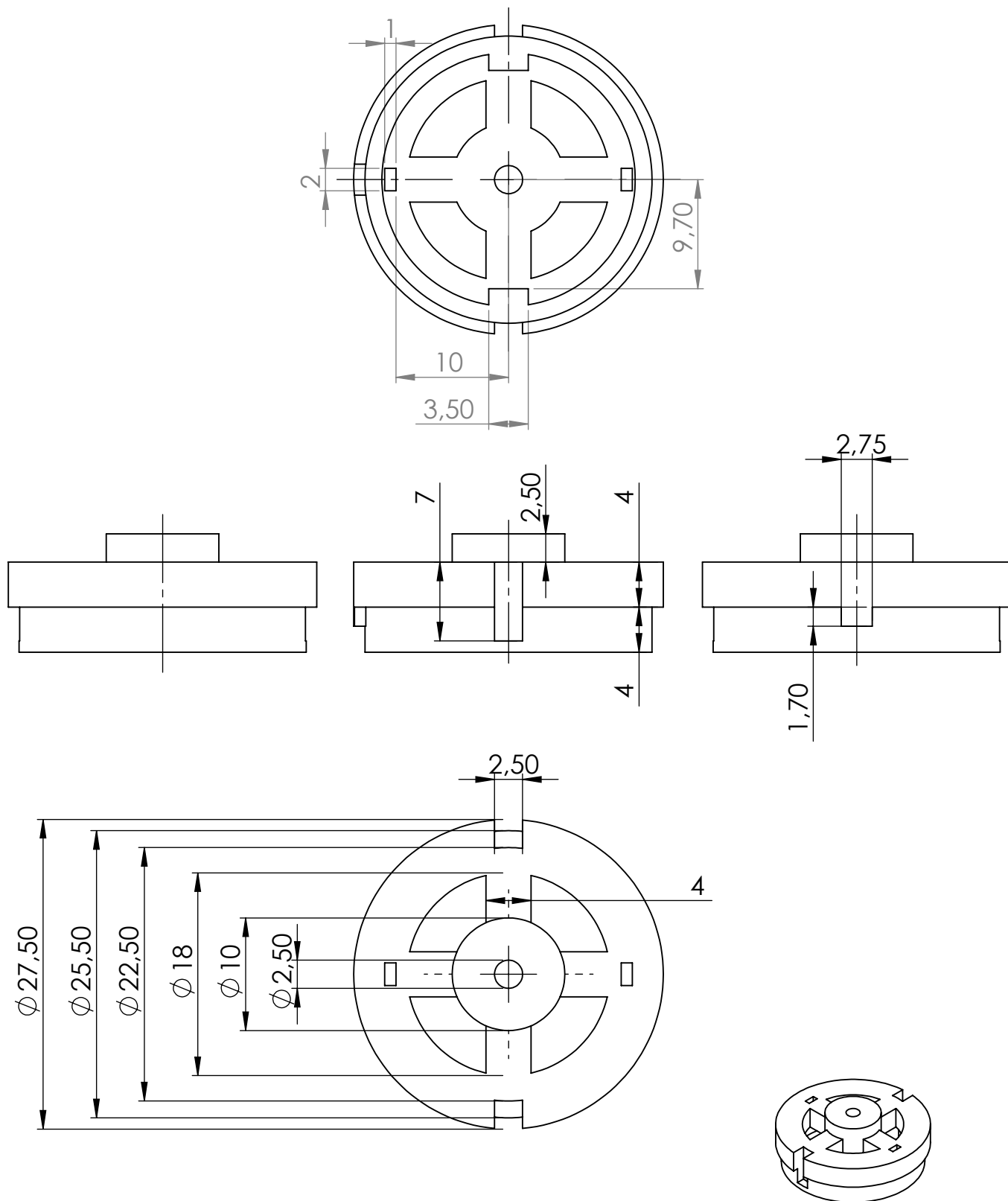




|   |       |
|---|-------|
| 1 | ABS   |
| 2 | Coure |

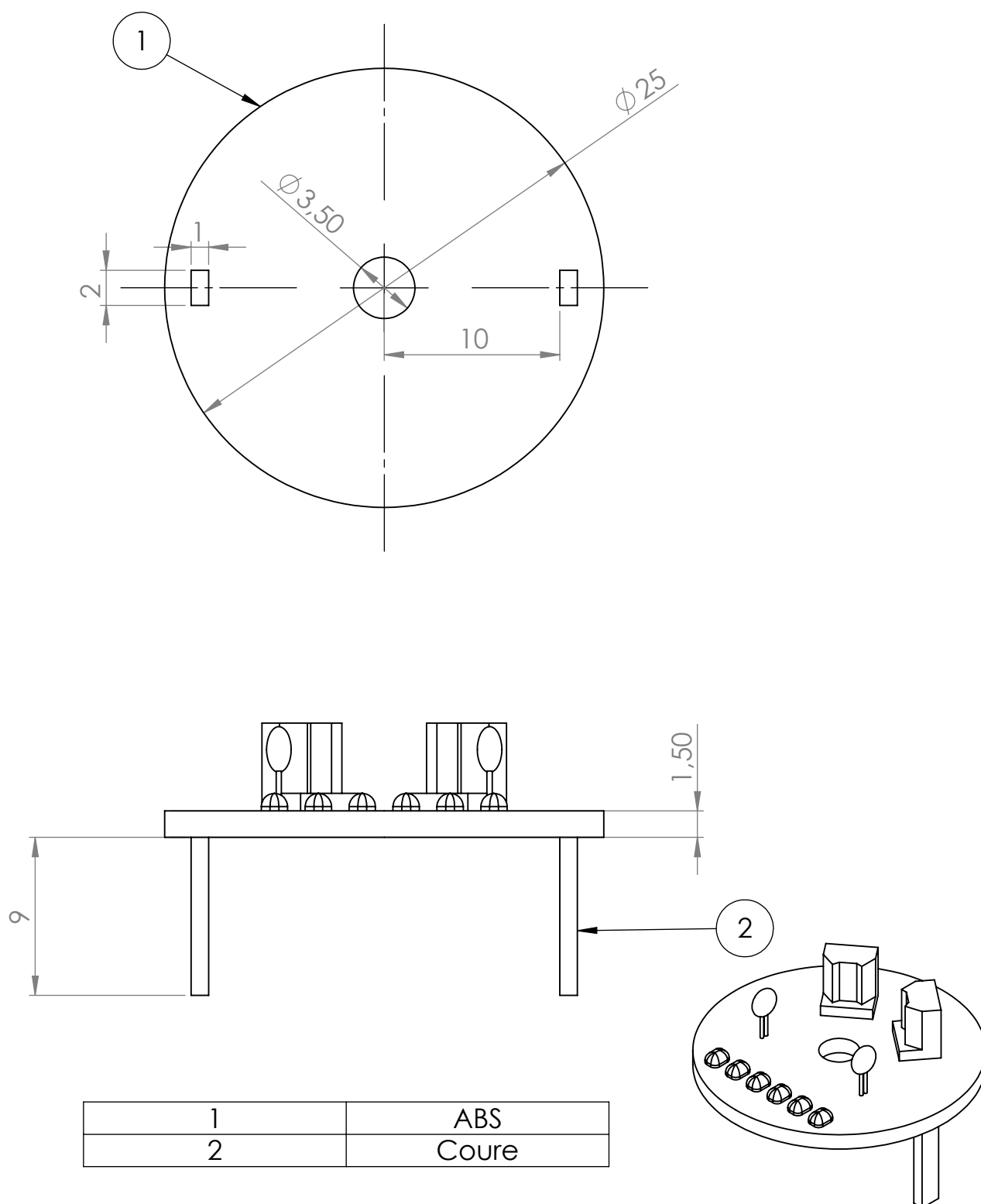
|   |  |                                   |  |                              |
|---|--|-----------------------------------|--|------------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  |  | Subasseblatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Galgues del col·lector</b> | Plànol n°:<br><b>n° 22</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   |  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |  | Quantitat: <b>1</b>          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   |  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>10:1</b>                 | Projecció:<br>               |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  |                                   | Massa: <b>1,37 g</b>                   | Material: <b>ABS i Coure</b> |





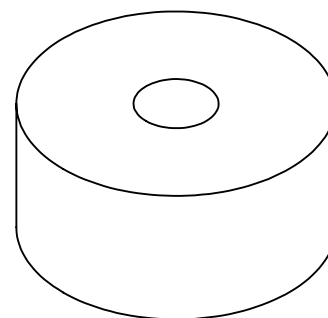
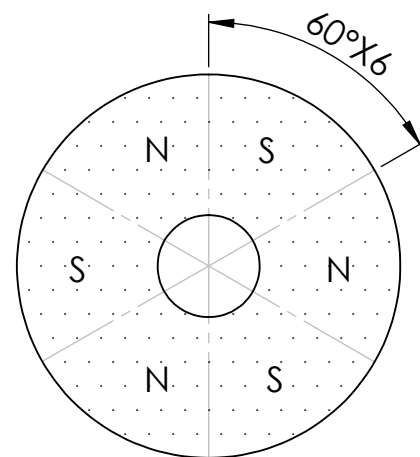
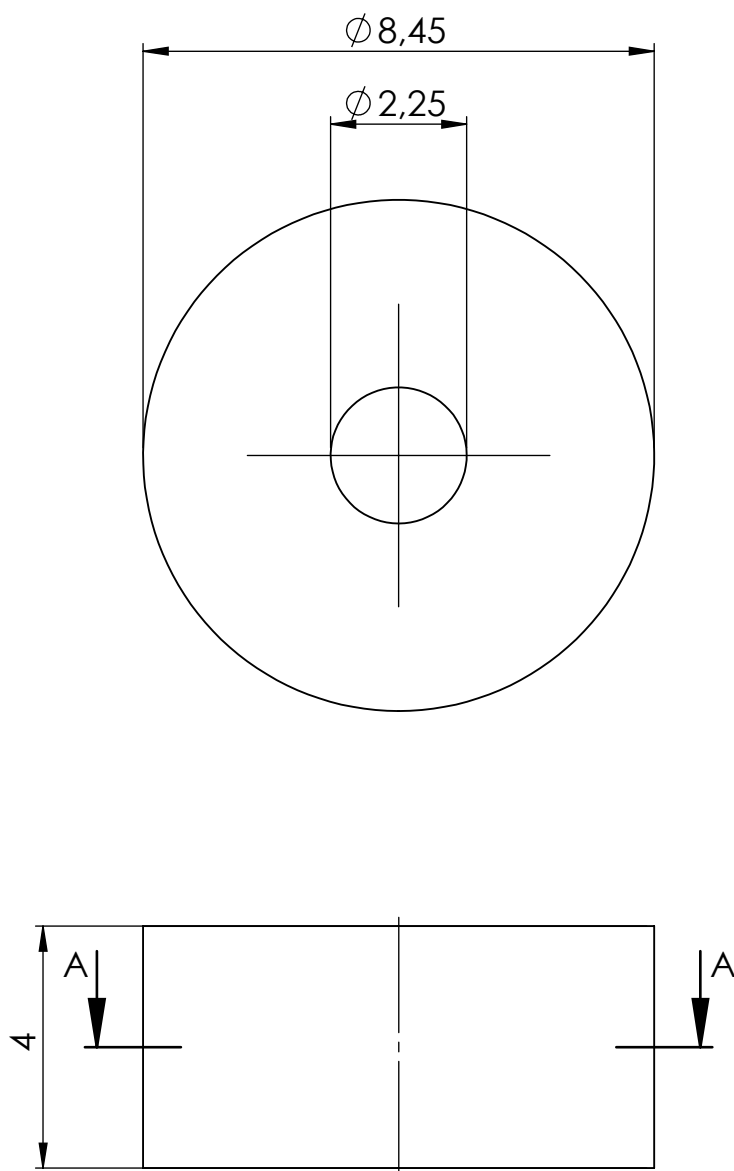
|  |                                   |                          |  |                            |
|--|-----------------------------------|--------------------------|--|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça: <b>Escombretes</b> |  | Plànol n°:<br><b>n° 23</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                          | Quantitat: <b>2</b>  |                            |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>7:1</b>    | Projecció:  |                            |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,24 g</b>     | Material: <b>Coure</b>   |                            |





|  |                                   |   |  |
|--|-----------------------------------|---|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Tapa de la carcassa del motor</b> | Plànol n°:<br><b>n° 24</b>   |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>1</b>  |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>2:1</b>                         | Projecció:  |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>2,56 g</b>                          | Material: <b>Polímer ABS</b>   |

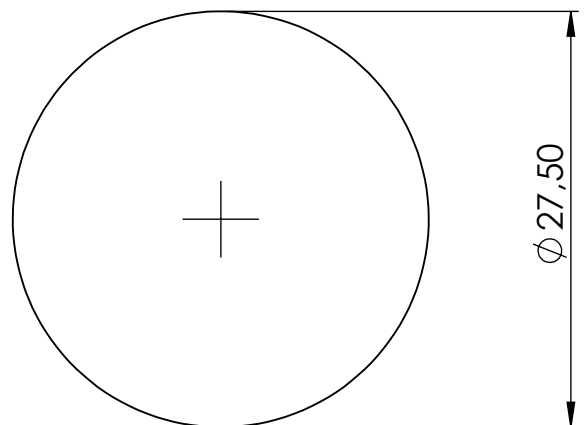
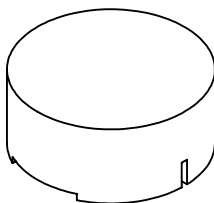
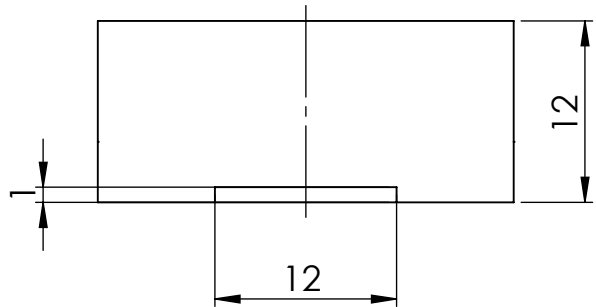
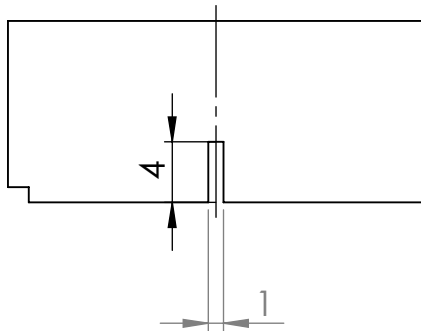
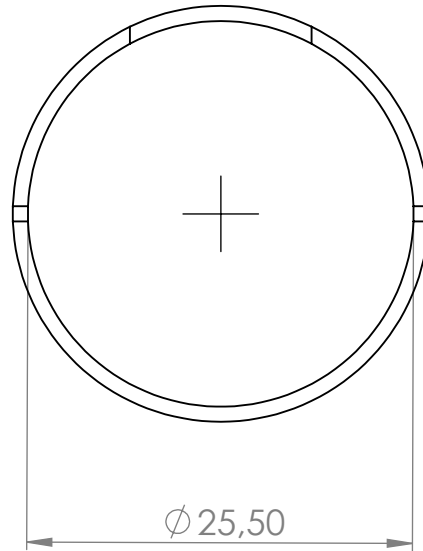




|   |                                   |                                  |   |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassembatge:<br><b>Motor</b>    | Peça:<br><b>Xip de l'encoder</b> | Plànol n°:<br><b>n° 25</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                  | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>3:1</b>            | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,92 g</b>             | Material: <b>ABS i Coure</b>  |

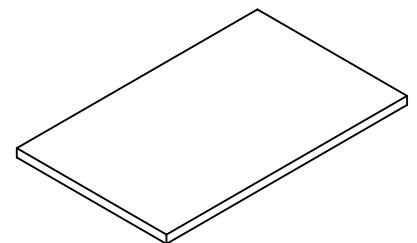
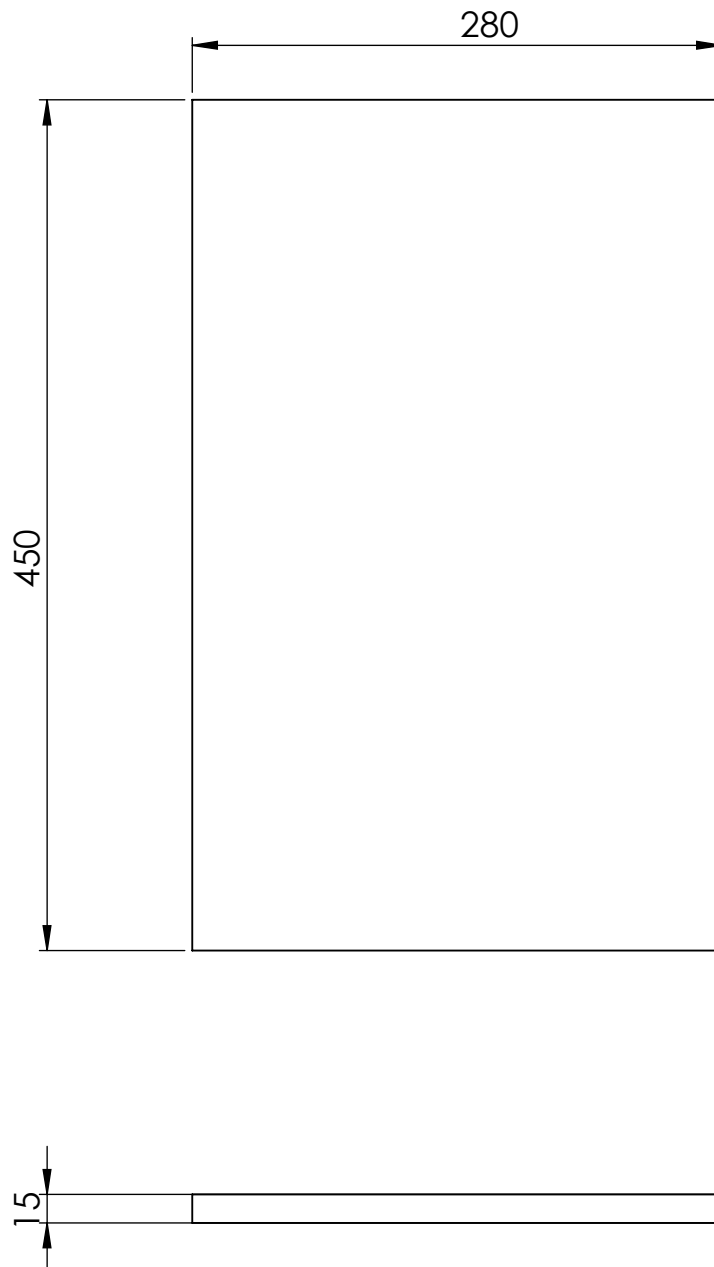




|  |  |                              |  |   |  |                          |  |
|--|--|------------------------------|--|---|--|--------------------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   |  | Subassemblatge:<br><br>Motor |  | Peça:<br><br>Imant encoder  |  | Plànol n°:<br><br>n° 26  |  |
| Revisat: Oscar Farrerons Vidal   |  |                              |  | Data d'entrega: 03/10/2017  |  | Quantitat: 1             |  |
| Dibuixat: Aleix Jordà Ferrer   |  |                              |  | Format:<br><br>DIN A4   |  | Escala:<br><br>8:1       |  |
| <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</div><div>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</div></div> |  |                              |  | Projecció:<br> |  |                          |  |
|  |  |                              |  | Massa: 1,63 g   |  | Material: Ferrita Bonded |  |

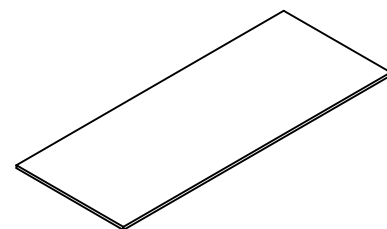
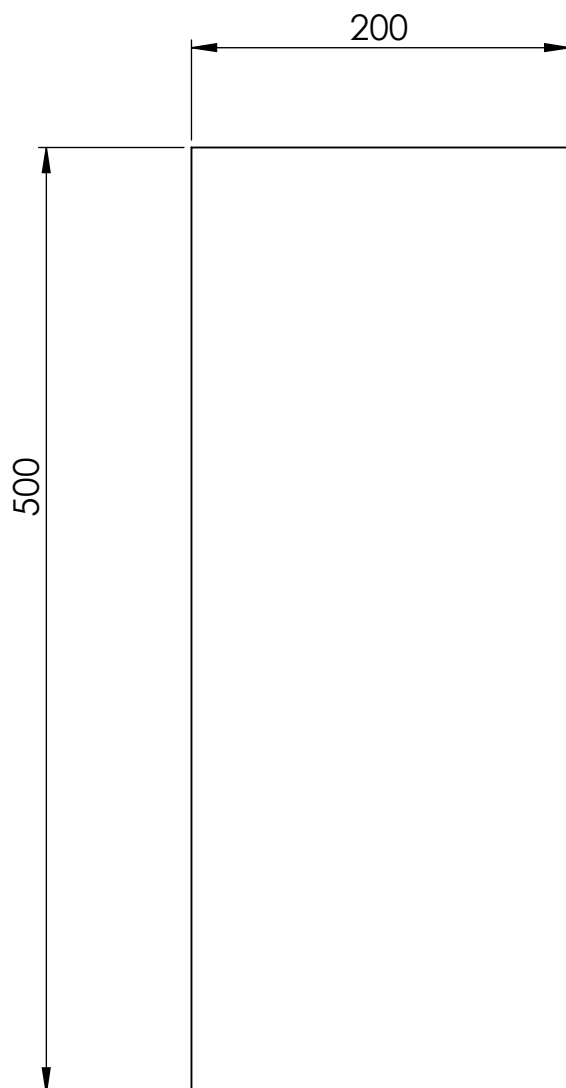
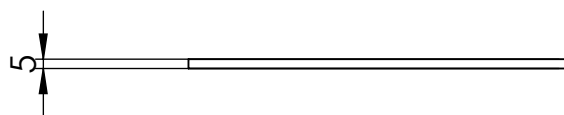






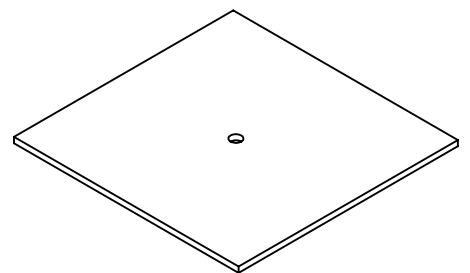
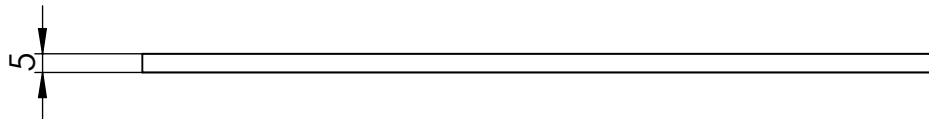
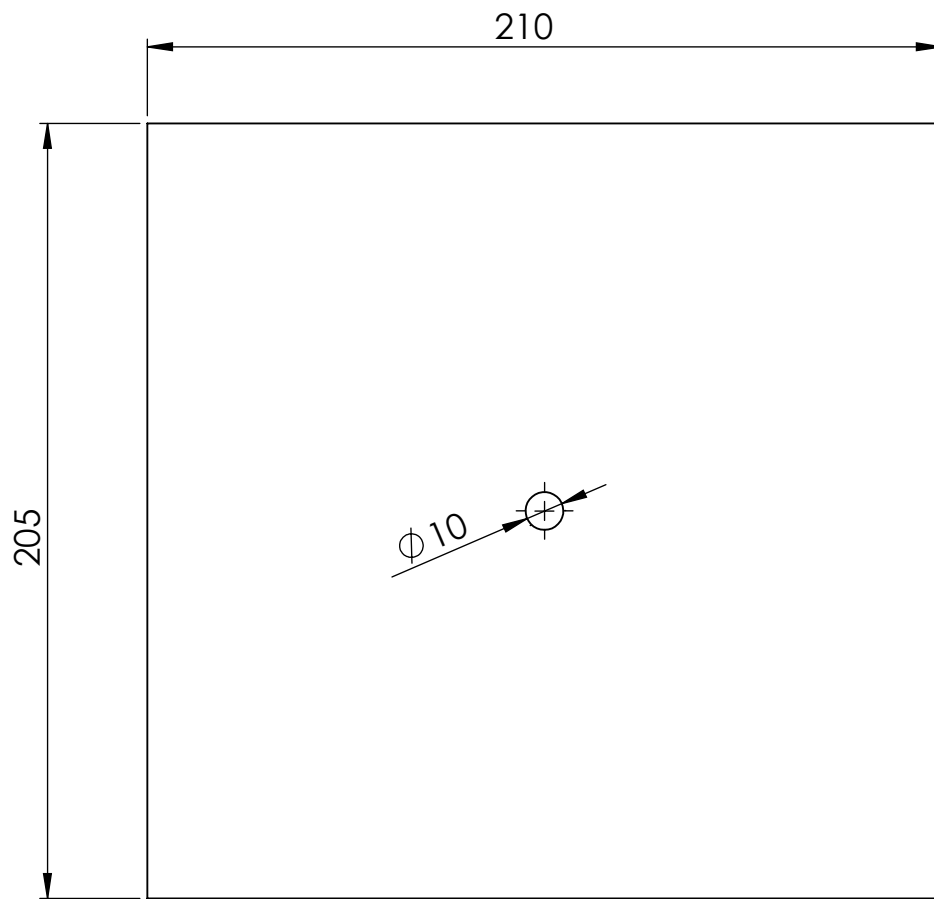
|  |  |                             |  |  |  |                         |  |   |  |
|--|--|-----------------------------|--|--|--|-------------------------|--|---|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   |  | Subassemlatge:<br><br>Motor |  | Peça:<br><br>Tapa del xip de l'encoder |  | Plànol nº:<br><br>nº 27 |  |   |  |
| Revisat: Oscar Farrerons Vidal   |  |                             |  | Data d'entrega: 03/10/2017             |  | Quantitat: 1            |  |   |  |
| Dibuixat: Aleix Jordà Ferrer   |  |                             |  | Format:<br><br>DIN A4                  |  | Escala:<br><br>2:1      |  |   |  |
| <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</div><div>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</div></div> |  |                             |  | Format:                                |  | Escala:                 |  | Projecció:<br> |  |
|  |  |                             |  | Massa: 1,94 g                          |  | Material: ABS           |  |   |  |





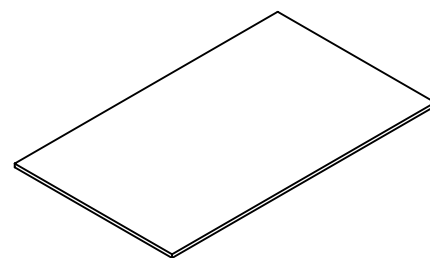
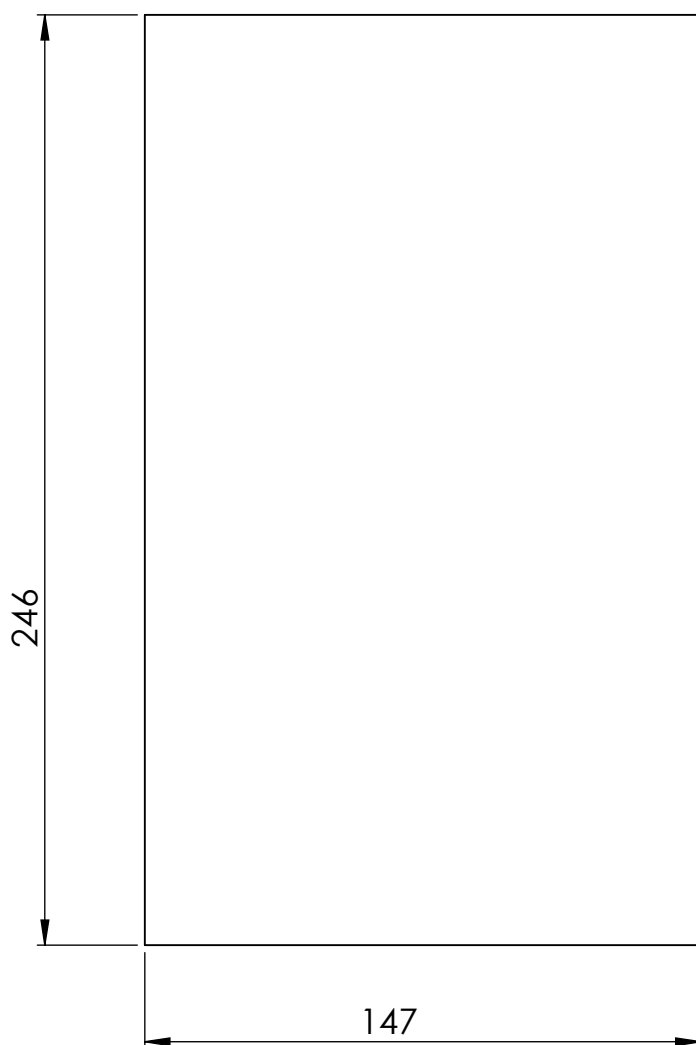
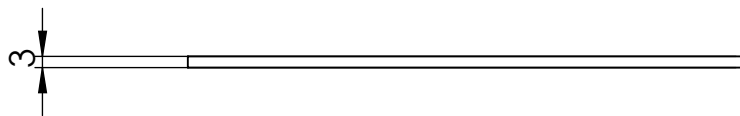
|   |  |                                   |                                       |   |
|---|--|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  |  | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Base</b>                  | Peça nº:<br><b>nº 28</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   |  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                       | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   |  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:4</b>                 | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  | Massa: <b>1058.4 g</b>            | Material: <b>Contraxapat de roure</b> |   |





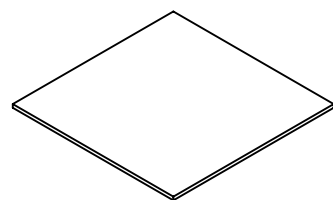
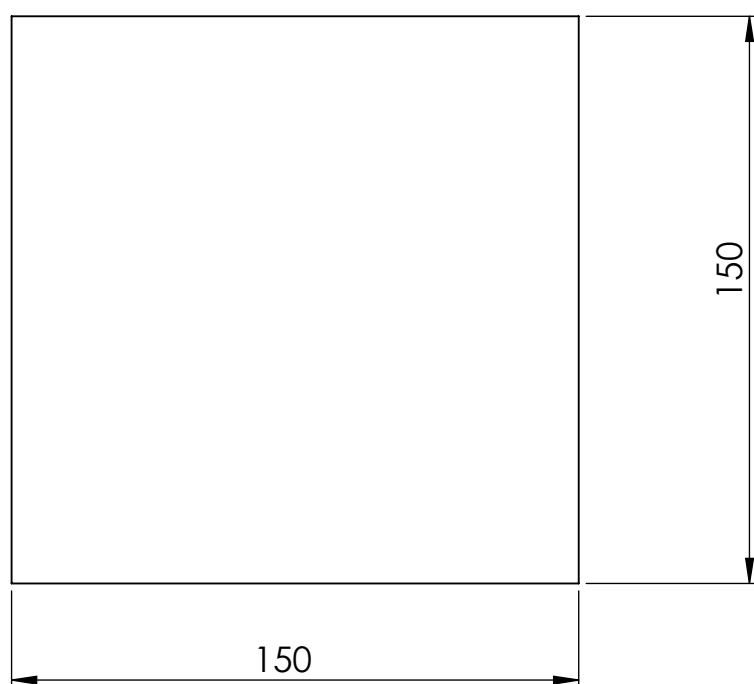
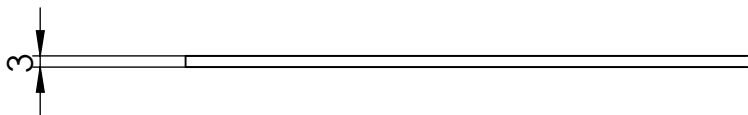
|  |  |                                |  |   |  |                             |  |
|--|--|--------------------------------|--|---|--|-----------------------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   |  | Subassemlatge:<br><br>Ascensor |  | Peça:<br><br>Paret lateral  |  | Peça nº:<br><br>nº 29       |  |
| Revisat: Oscar Farrerons Vidal   |  |                                |  | Data d'entrega: 03/10/2017  |  | Quantitat:3                 |  |
| Dibuixat: Aleix Jordà Ferrer   |  |                                |  | Format:<br><br>DIN A4   |  | Escala:<br><br>1:4          |  |
| <br>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  |                                |  | Projecció:<br> |  |                             |  |
|  |  |                                |  | Massa: 170 g  |  | Material: Contraxapat de pi |  |





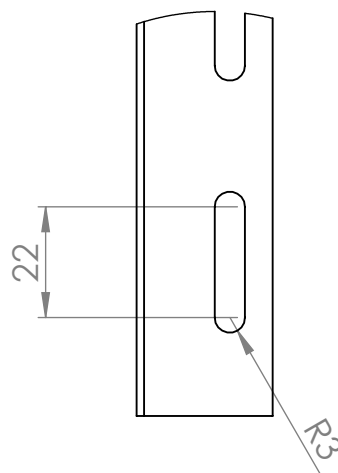
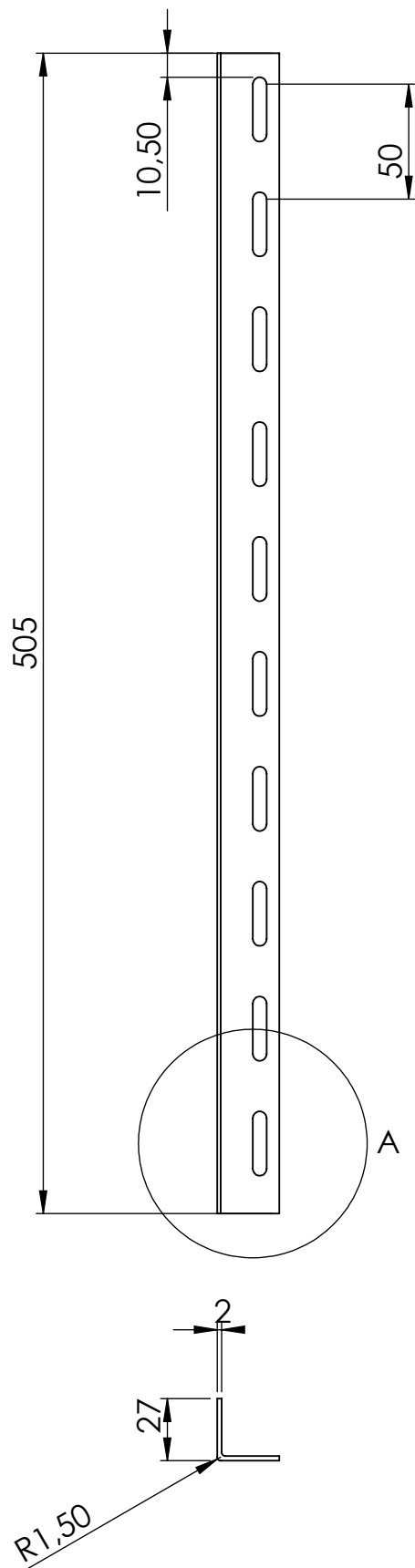
|  |                                   |                               |  |                          |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Paret lateral</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 30</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                               | Quantitat: <b>1</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:2</b>         | Projectió:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>73.5 g</b>          | Material: <b>Contraxapat de pi</b>   |                          |



|  |                                   |  |   |                          |
|--|-----------------------------------|--|---|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Paret lateral de la cabina</b> |   | Peça nº:<br><b>nº 31</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |  | Quantitat: <b>3</b>   |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:2</b>                      | Projectió:<br> |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>36,89 g</b>                      | Material: <b>Contraxapat de pi</b>  |                          |





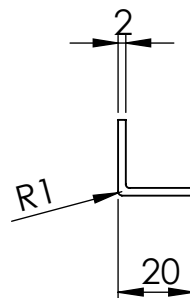
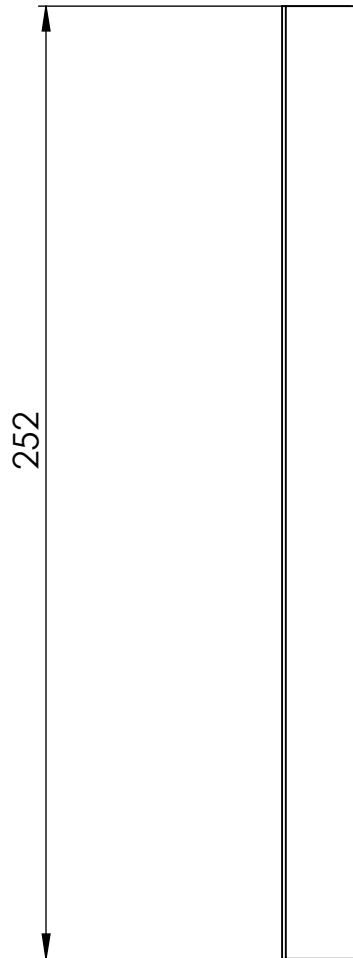
|   |                                   |                                    |   |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Tapes de la cabina</b> | Peça nº:<br><b>nº 32</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                    | Quantitat: <b>2</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:2</b>              | Projectió:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>22,95 g</b>              | Material: <b>Contraxapat de pi</b>  |





DETALL A  
ESCALA 2 : 3

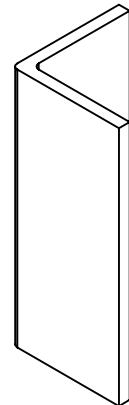
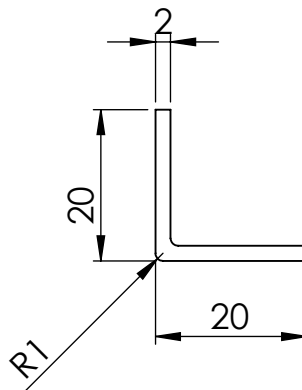
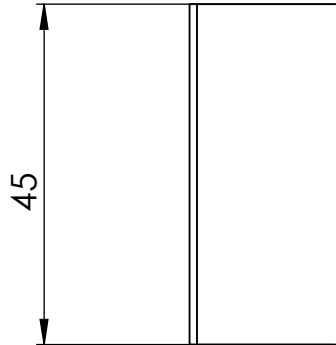




|  |  |                                       |  |   |  |  |  |
|--|--|---------------------------------------|--|---|--|--|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   |  | Subassemlatge:<br><br><b>Ascensor</b> |  | Peça:<br><br><b>Pilar de l'estructura</b>   |  | Peça nº:<br><br><b>nº 33</b>                         |  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  |  |                                       |  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>   |  | Quantitat: <b>4</b>                                  |  |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  |  |                                       |  | Format:<br><br><b>DIN A4</b>  |  | Escala:<br><br><b>1:3</b>                            |  |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</b><br><b>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</b> |  |                                       |  | Projecció:<br> |  |  |  |
|  |  |                                       |  | Massa: <b>360,15 g</b>  |  | Material: <b>Acer AISI 1020 i<br/>pintura blanca</b> |  |

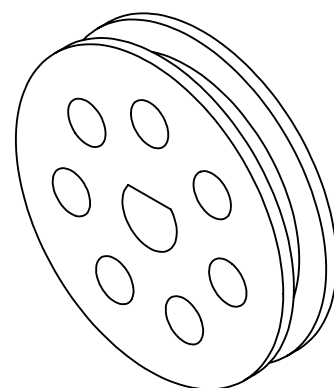
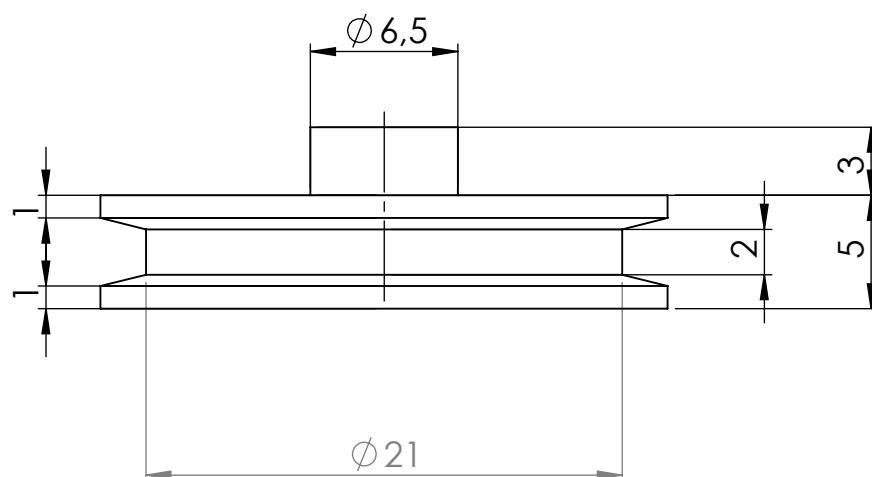
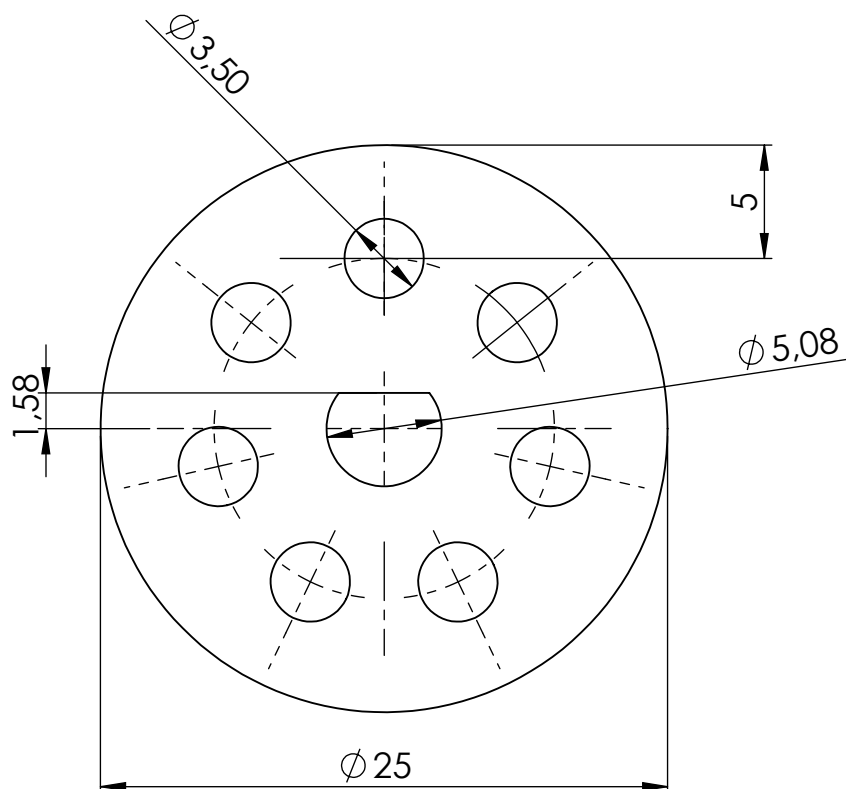


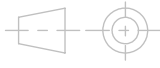

|  |                                   |                                    |  |                          |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Pilar de la cabina</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 34</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                    | Quantitat: <b>4</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:2</b>              | Projectió:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>19,54g</b>               | Material: <b>ABS amb cinta adhesiva</b>  |                          |

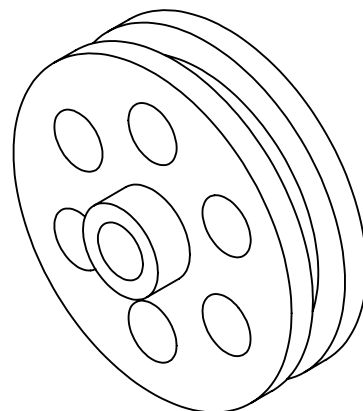
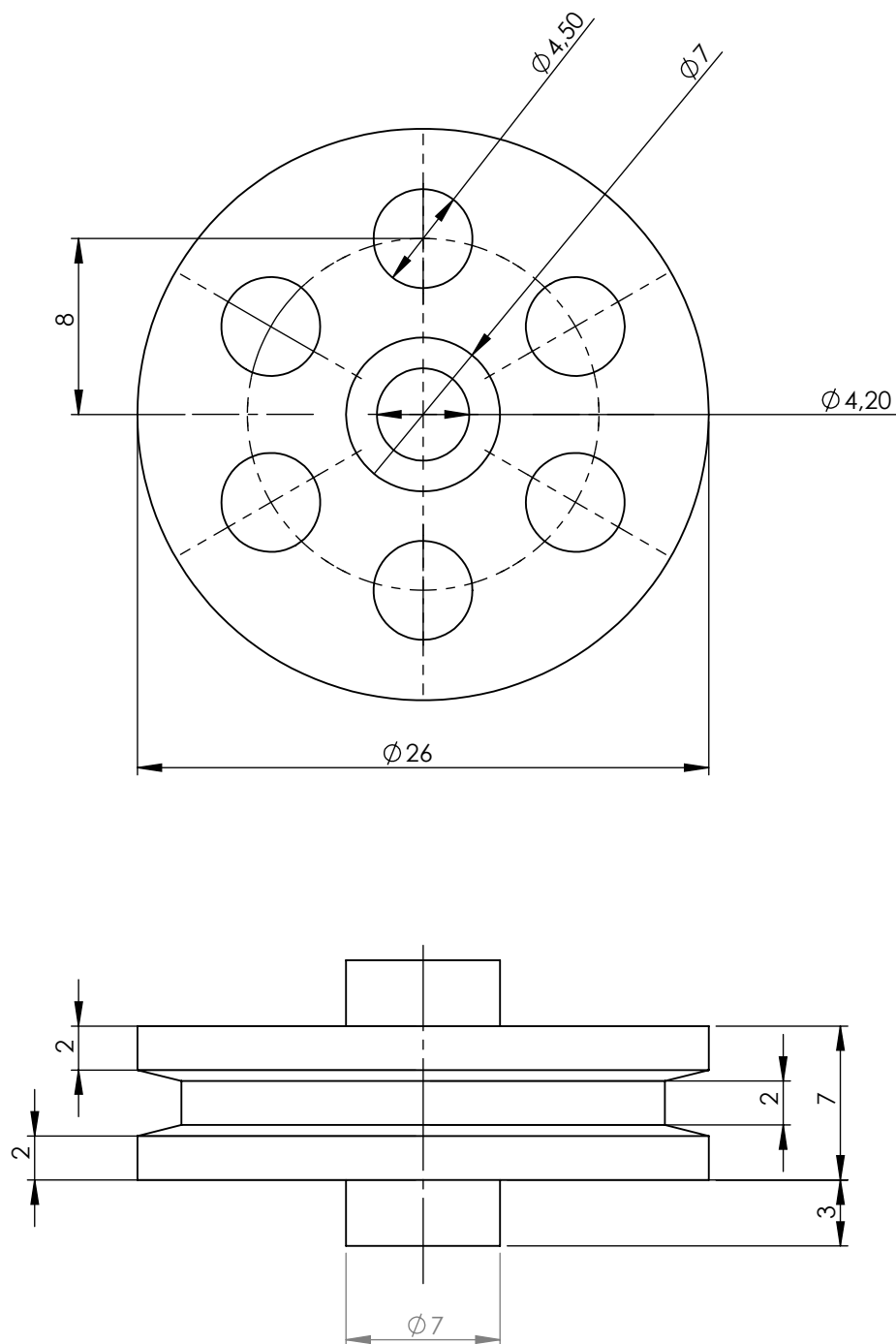






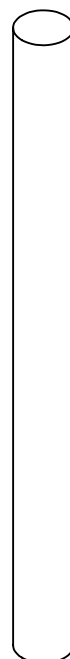
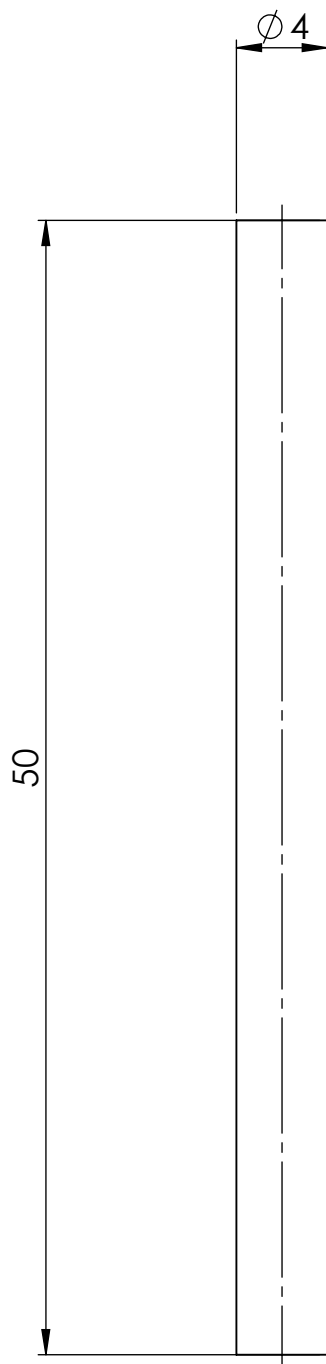
|   |                                   |  |   |                          |
|---|-----------------------------------|--|---|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Pilar lateral de la cabina</b> |   | Peça nº:<br><b>nº 35</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |  | Quantitat: <b>6</b>   |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:1</b>                      | Projecció:<br> |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>3,49 g</b>                       | Material: <b>ABS amb cinta adhesiva</b>   |                          |





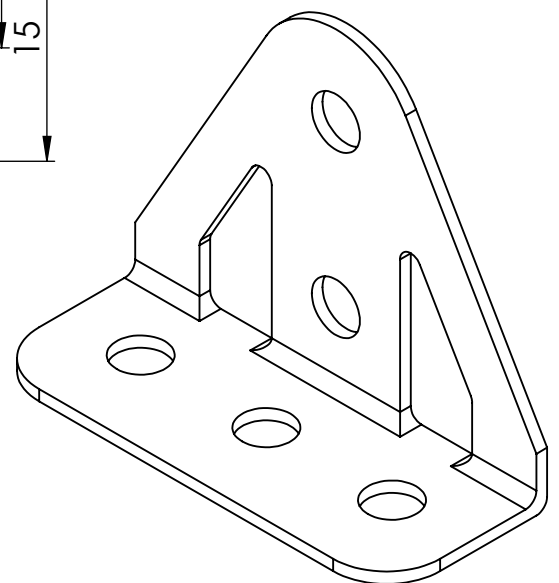
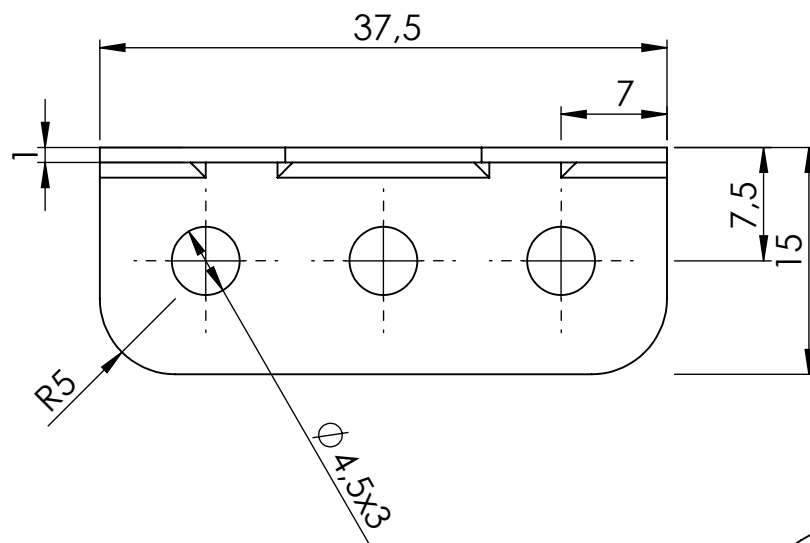
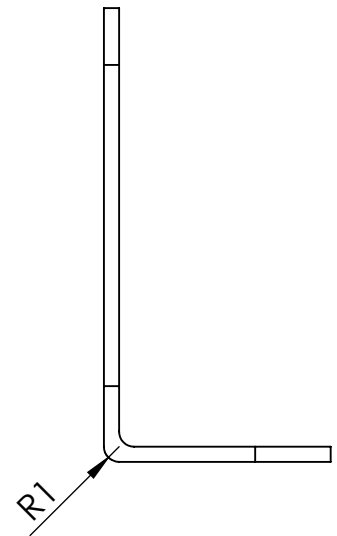
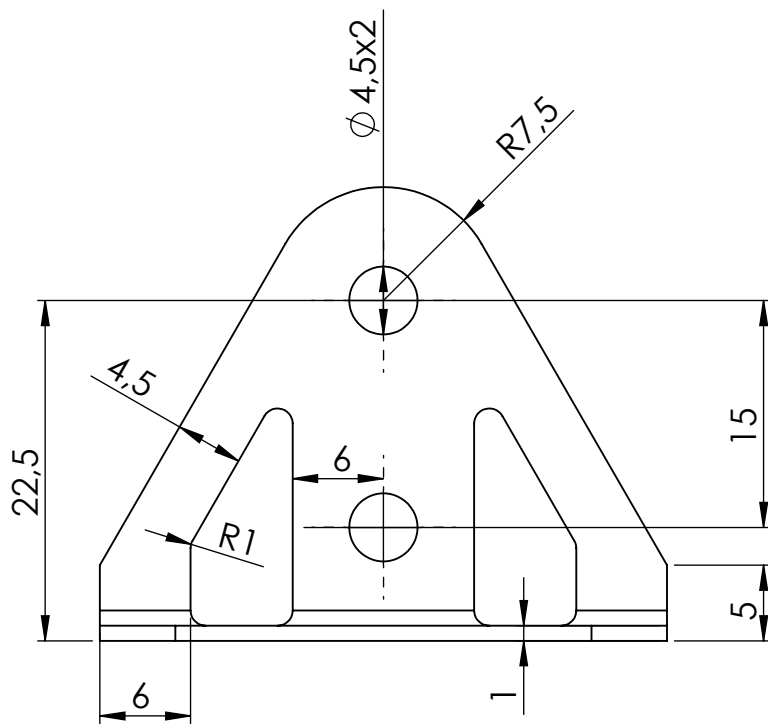
|  |  |                                |                             |                    |   |
|--|--|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   |  | Subassemlatge:<br><br>Ascensor | Peça:<br><br>Politja motora |                    | Peça nº:<br><br>nº 36   |
| Revisat: Oscar Farrerons Vidal   |  |                                | Data d'entrega: 03/10/2017  |                    | Quantitat: 1  |
| Dibuixat: Aleix Jordà Ferrer   |  |                                | Format:<br><br>DIN A4       | Escala:<br><br>3:1 | Projecció:<br> |
| <br>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  |                                | Massa: 1,75 g               |                    | Material: Polímer ABS   |





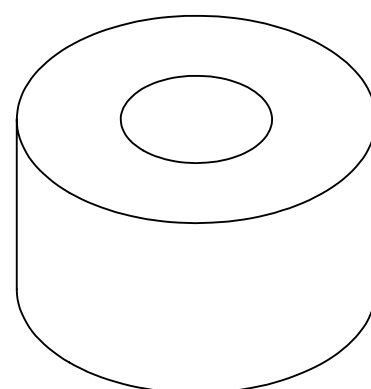
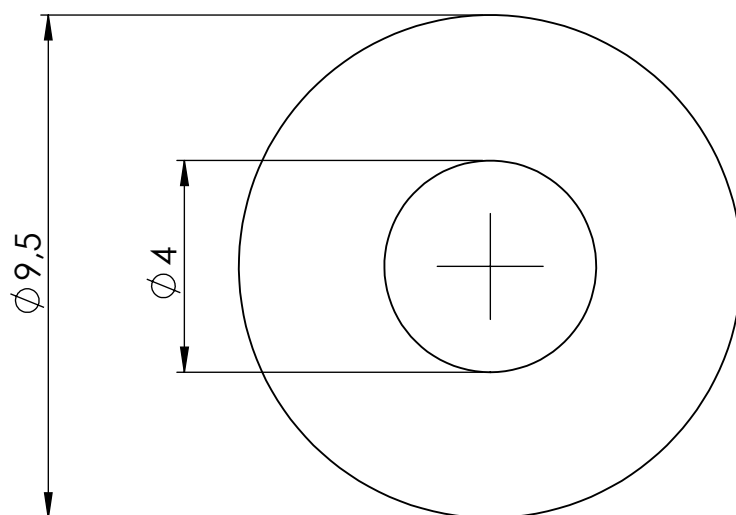
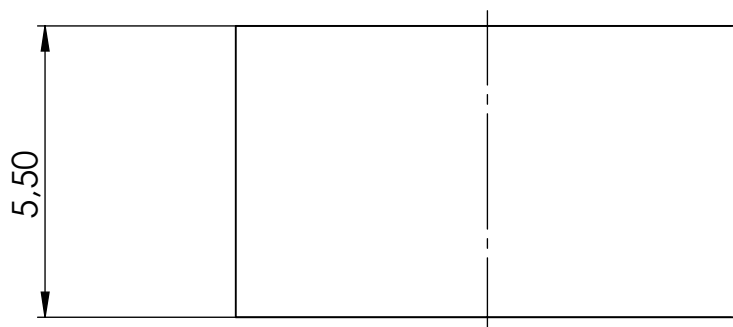
|  |                                   |                                 |  |                          |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subasseblatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça: <b>Politja conductora</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 37</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                 | Quantitat: <b>1</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>3:1</b>           | Projecció:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>2,77 g</b>            | Material: <b>Polímer ABS</b>   |                          |





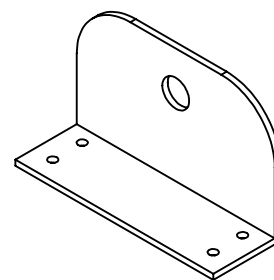
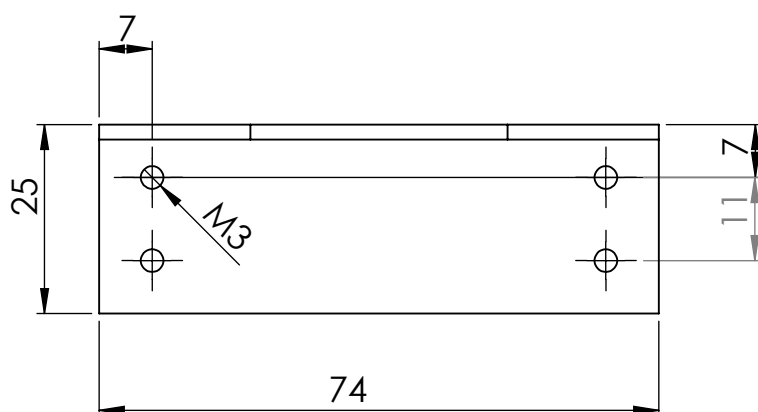
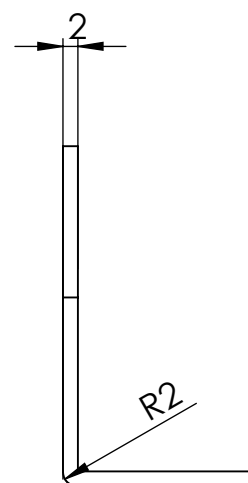
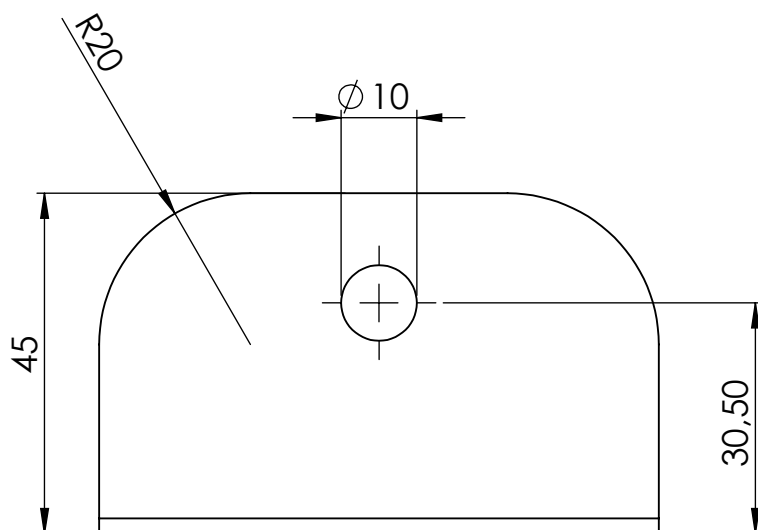
|  |                                   |  |   |
|--|-----------------------------------|--|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Eix de la politja conductora</b> | Peça nº:<br><b>nº 38</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |  | Quantitat: <b>1</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>3:1</b>                        | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>4,96 g</b>                         | Material: <b>Acer AISI 1020</b>   |





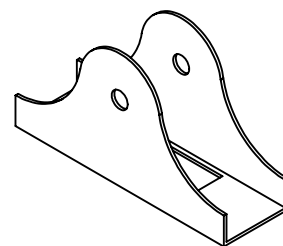
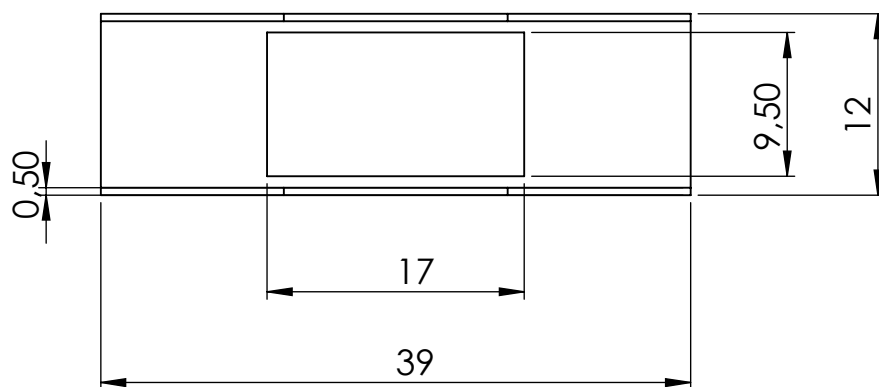
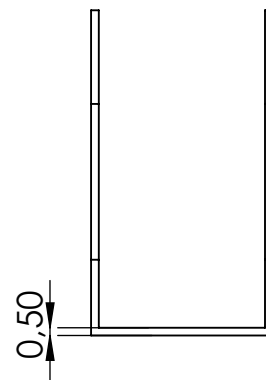
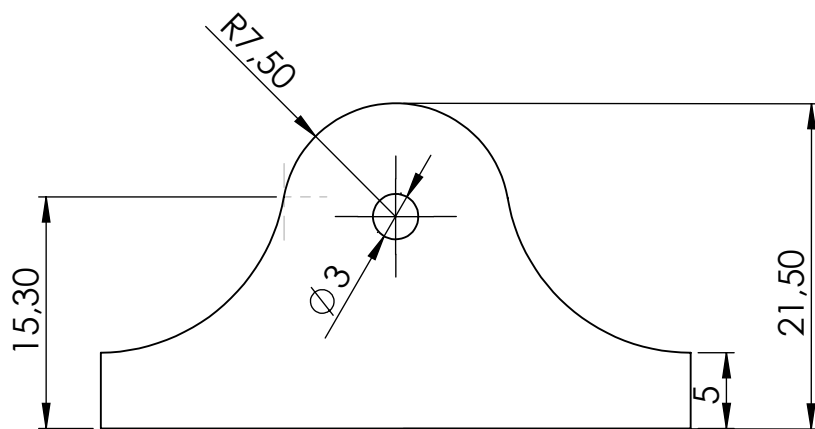
|   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça: <b>Suport de l'eix de la<br/>poliça conductora</b> | Peça nº:<br><b>nº 39</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> | Quantitat: <b>2</b>                                      |   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>2:1</b>                                    | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>8,25 g</b>                                     | Material: <b>Acer AISI 1020</b>   |




|   |                                   |   |  |                          |
|---|-----------------------------------|---|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça: <b>Limitador de moviment<br/>de l'eix de la politja</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 40</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>4</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>7:1</b>   | Projecció:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>0,33 g</b>  | Material: <b>Polímer ABS</b>   |                          |

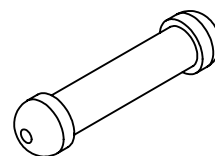
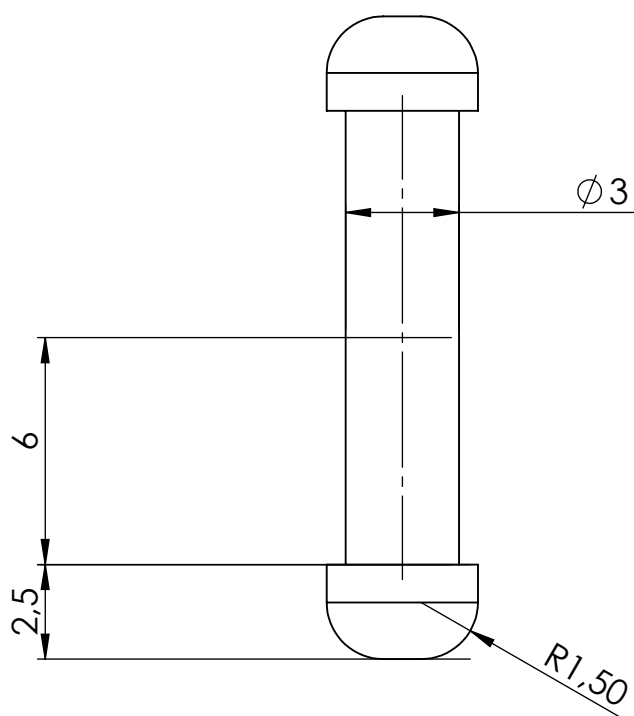
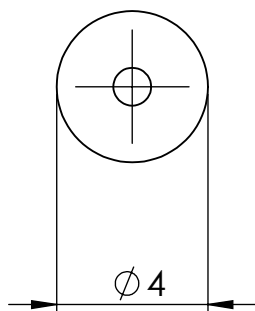




|  |                                   |                               |  |                          |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça: <b>Suport del motor</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 41</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                               | Quantitat: <b>1</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:1</b>         | Projectió:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>74,60 g</b>         | Material: <b>Acer AISI 1020</b>  |                          |

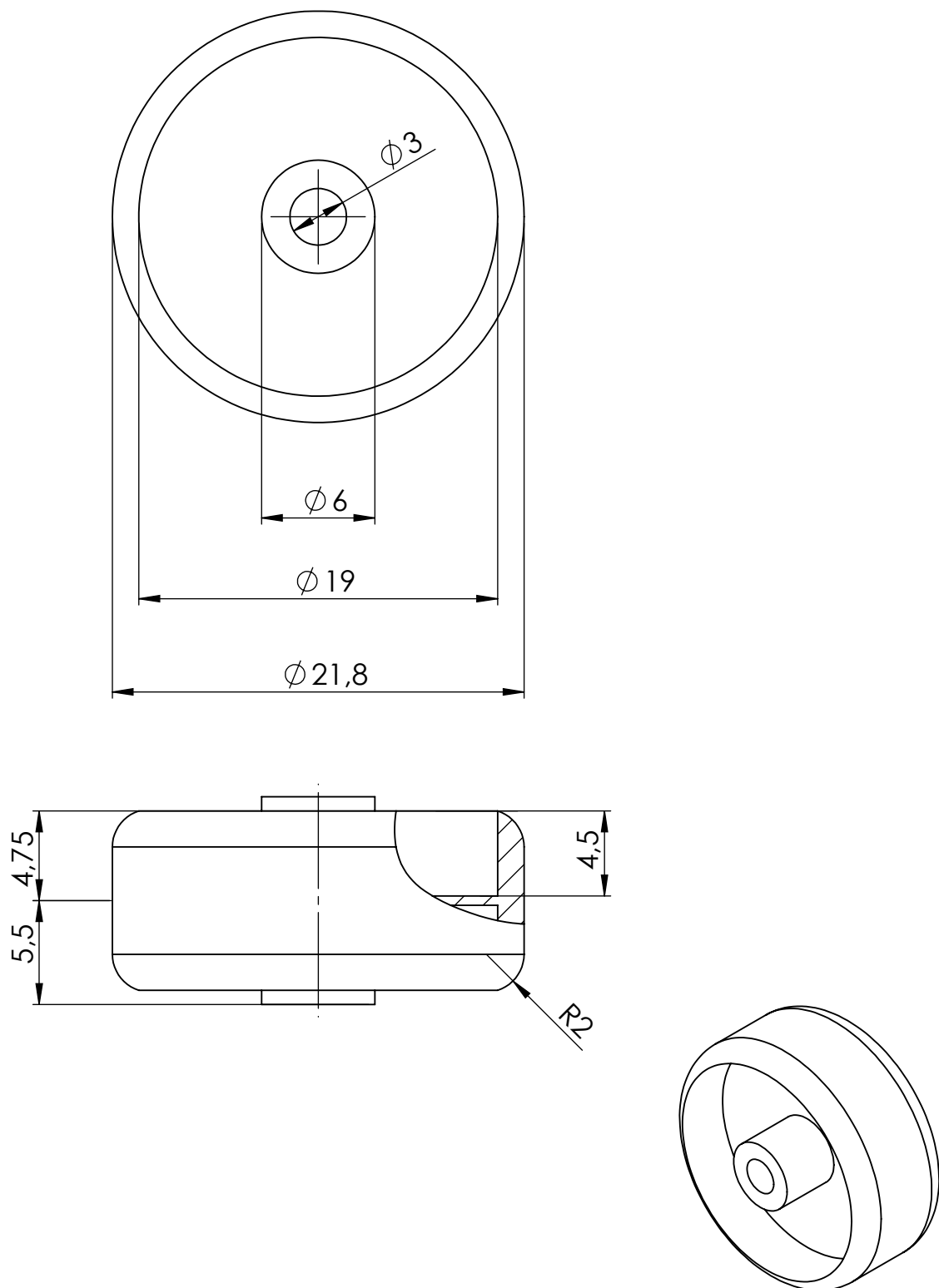




|   |  |                                 |  |   |  |                       |  |                                      |  |     |  |            |  |        |  |           |  |                |  |
|---|--|---------------------------------|--|---|--|-----------------------|--|--------------------------------------|--|-----|--|------------|--|--------|--|-----------|--|----------------|--|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL                  |  | Subassemblatge:<br><br>Ascensor |  | Peça:<br><br>Suport de la rodeta                      |  | Peça nº:<br><br>nº 42 |  |                                      |  |     |  |            |  |        |  |           |  |                |  |
| Revisat:  |  | Oscar Farrerons Vidal           |  | Data d'entrega:                                       |  | 03/10/2017            |  | Quantitat:5                          |  |     |  |            |  |        |  |           |  |                |  |
| Dibuixat:   |  | Aleix Jordà Ferrer              |  | Format:   |  | DIN A4                |  | Escala:                              |  | 2:1 |  | Projecció: |  |        |  |           |  |                |  |
|  |  |                                 |  | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH |  |                       |  | Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |  |     |  | Massa:     |  | 4,78 g |  | Material: |  | Acer AISI 1020 |  |

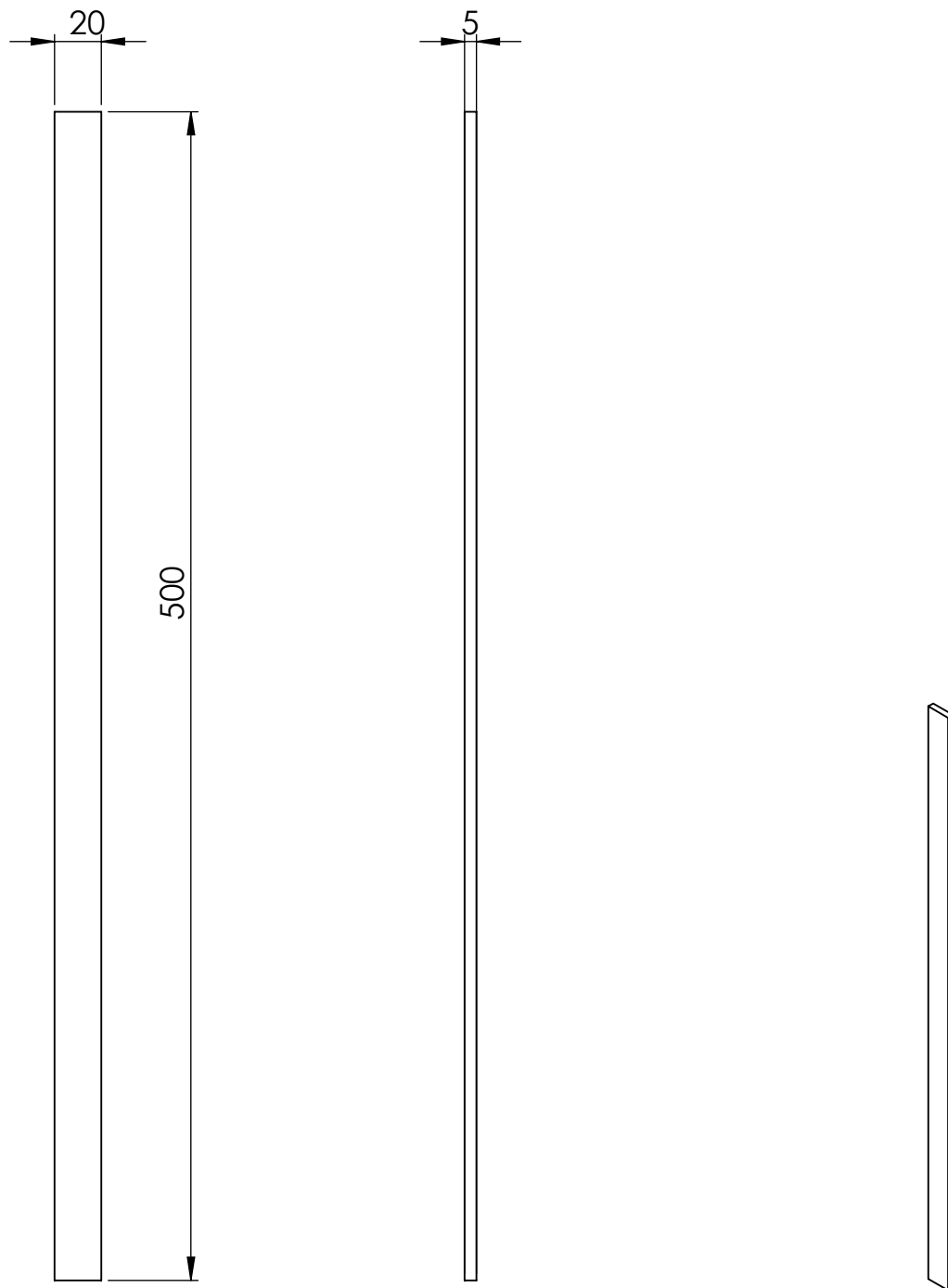






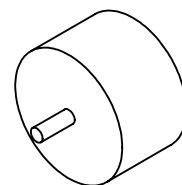
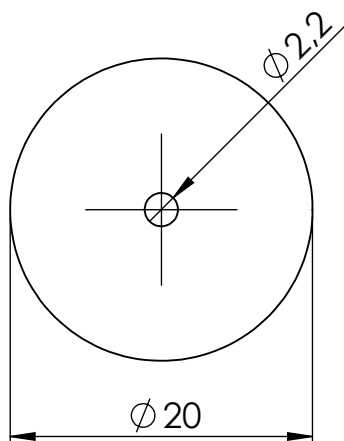
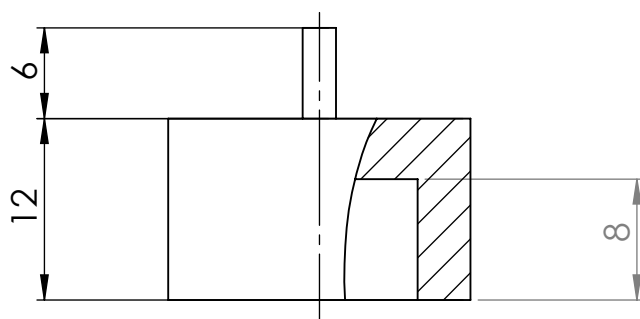
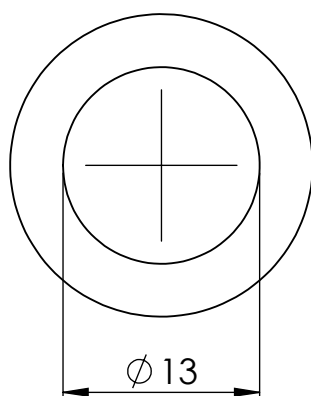
|  |                                   |   |  |                          |
|--|-----------------------------------|---|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Eix suport de la rodeta</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 43</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>5</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>5:1</b>                   | Projecció:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>1,09 g</b>                    | Material: <b>Acer AISI 1020</b>  |                          |



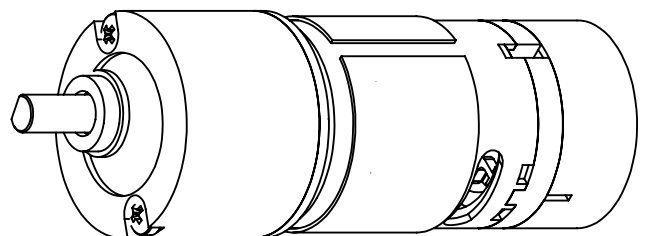
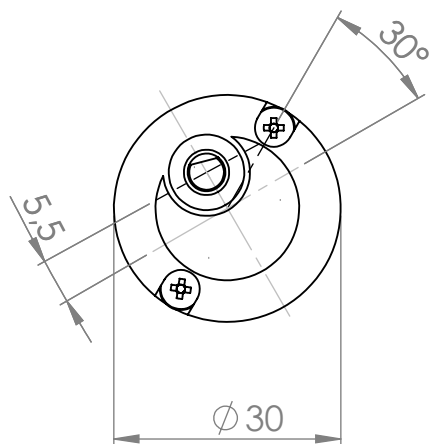
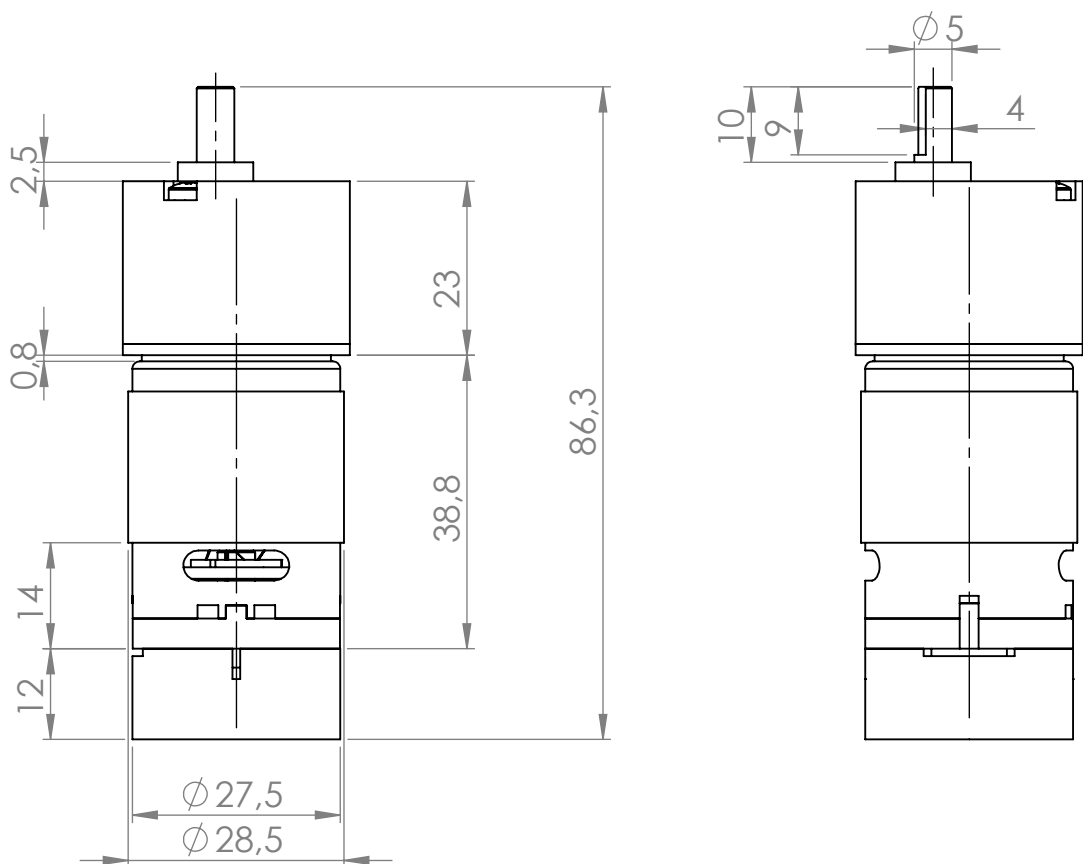
|   |                                   |                                   |   |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassemlatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Roda de la rodeta</b> | Peça nº:<br><b>nº 44</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                   | Quantitat: <b>5</b>   |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>3:1</b>             | Projecció:<br> |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>1,14 g</b>              | Material: <b>Polímer ABS</b>  |





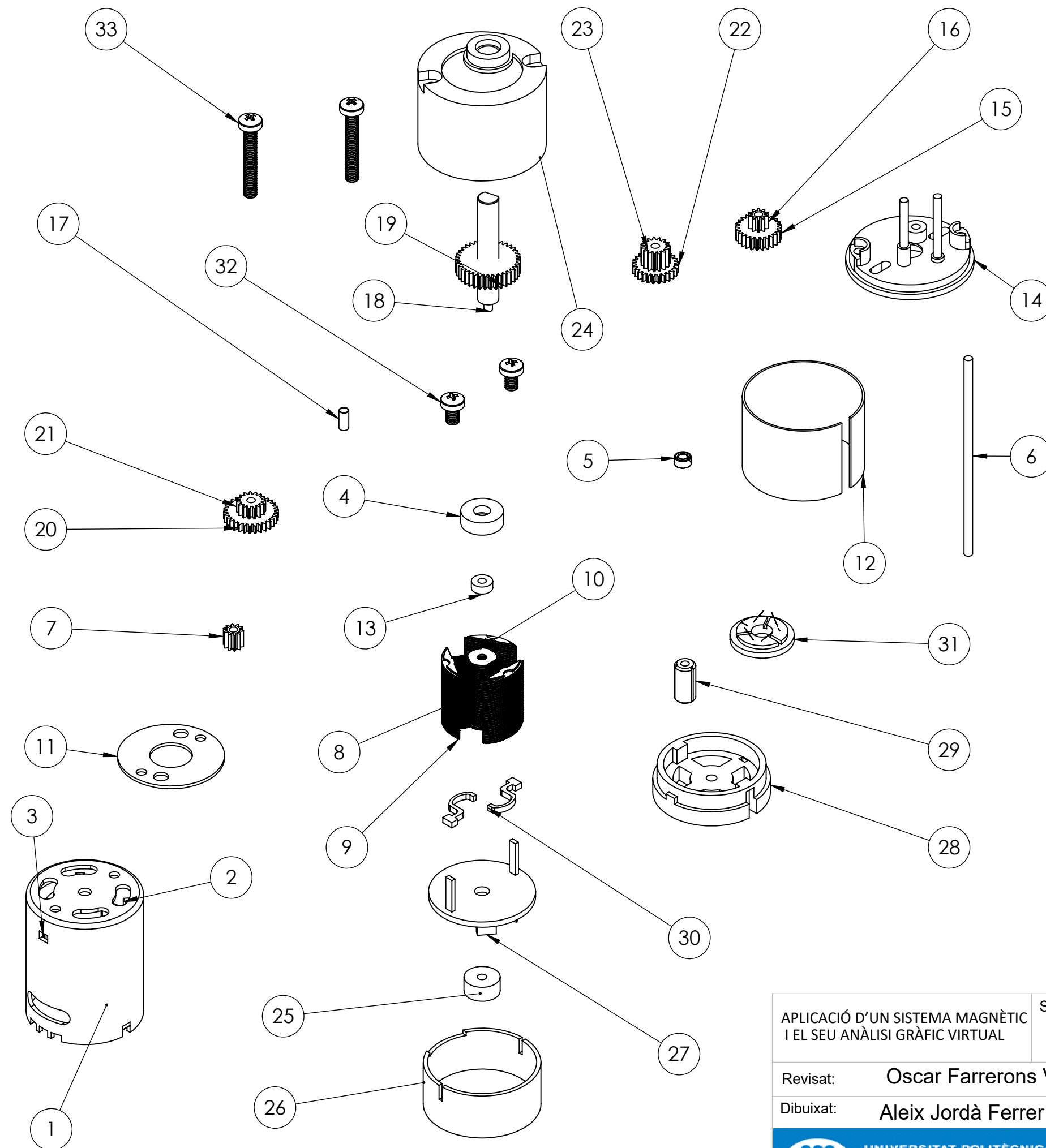
|  |                                   |   |  |                          |
|--|-----------------------------------|---|--|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Barra guia de la cabina</b> |  | Peça nº:<br><b>nº 45</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>6</b>  |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:3</b>                   | Projecció:  |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>17 g</b>                      | Material: <b>Contraxapat de pi</b>   |                          |



|   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  | Subassembatge:<br><b>Ascensor</b> | Peça:<br><b>Útil de subjecció de l'imant</b> | Peça nº:<br><b>nº 46</b>  |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> | Quantitat: <b>1</b>                          | <div data-bbox="1374 2063 1541 2123" data-label="Image"> </div> |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>2:1</b>                        |   |
| <div data-bbox="165 2101 288 2175" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="304 2107 839 2175" data-label="Text"> <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br/>BARCELONATECH<br/>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</p> </div> |                                   | Massa: <b>2,79 g</b>                         | Material: <b>Polímer ABS</b>                                    |



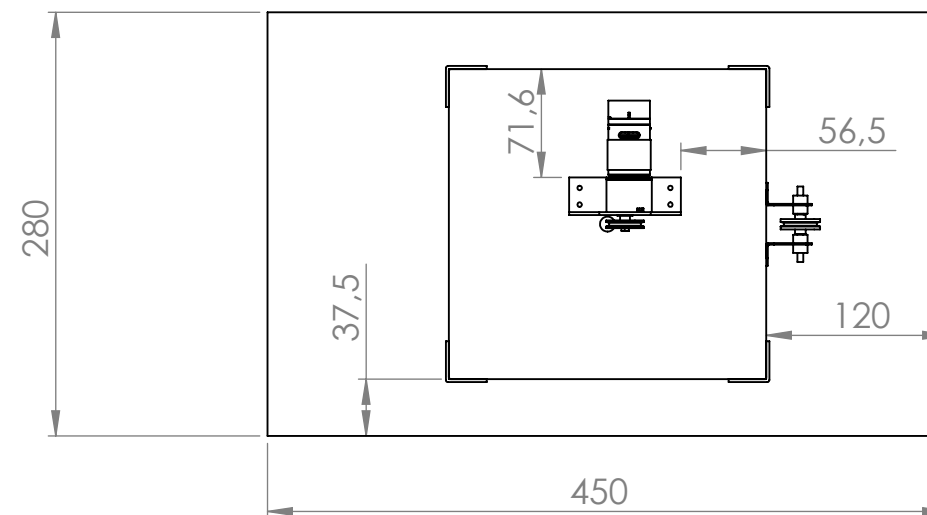
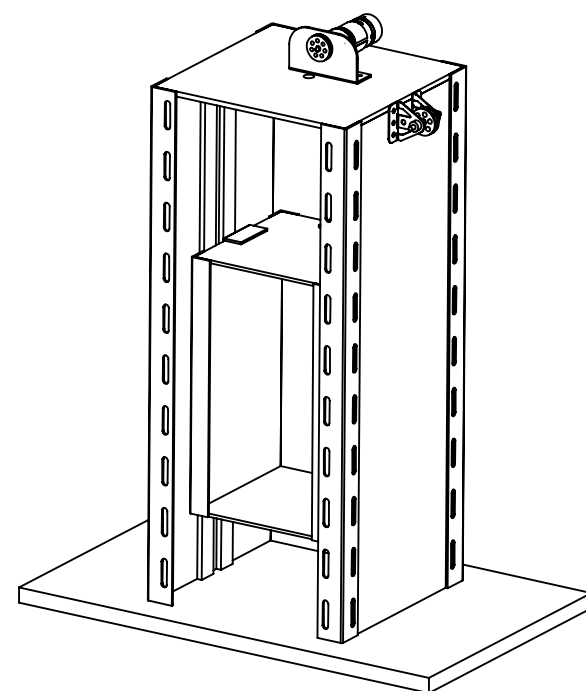
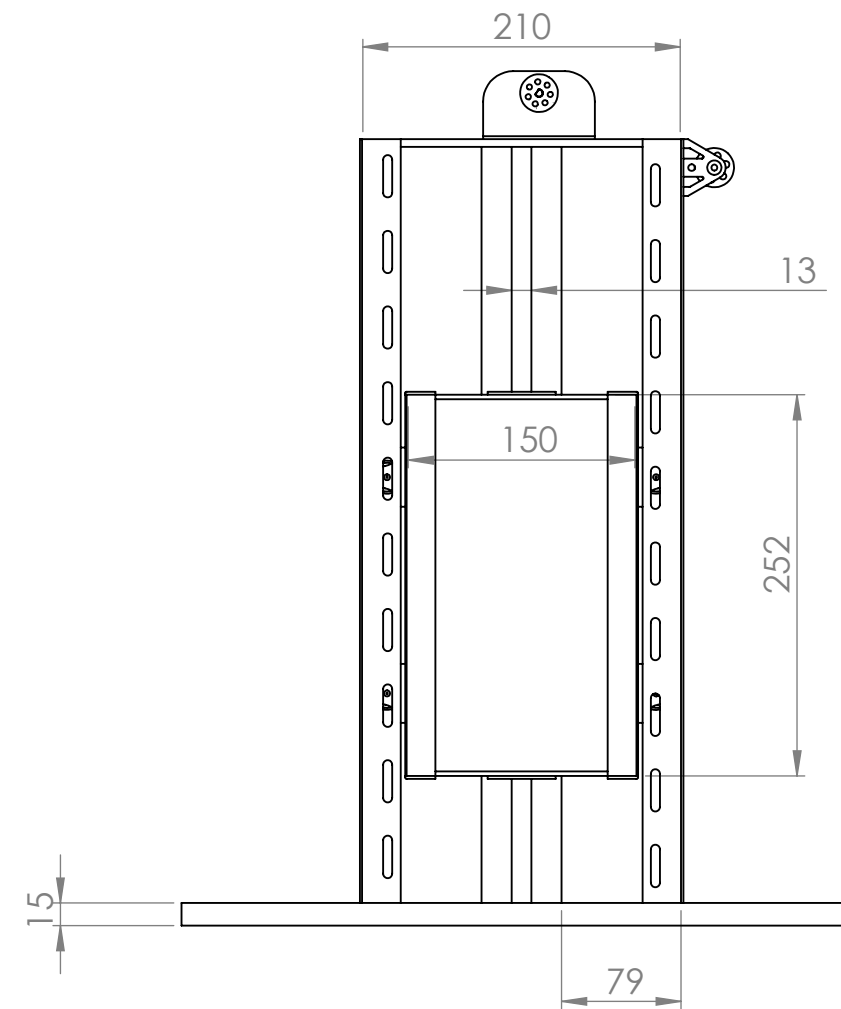
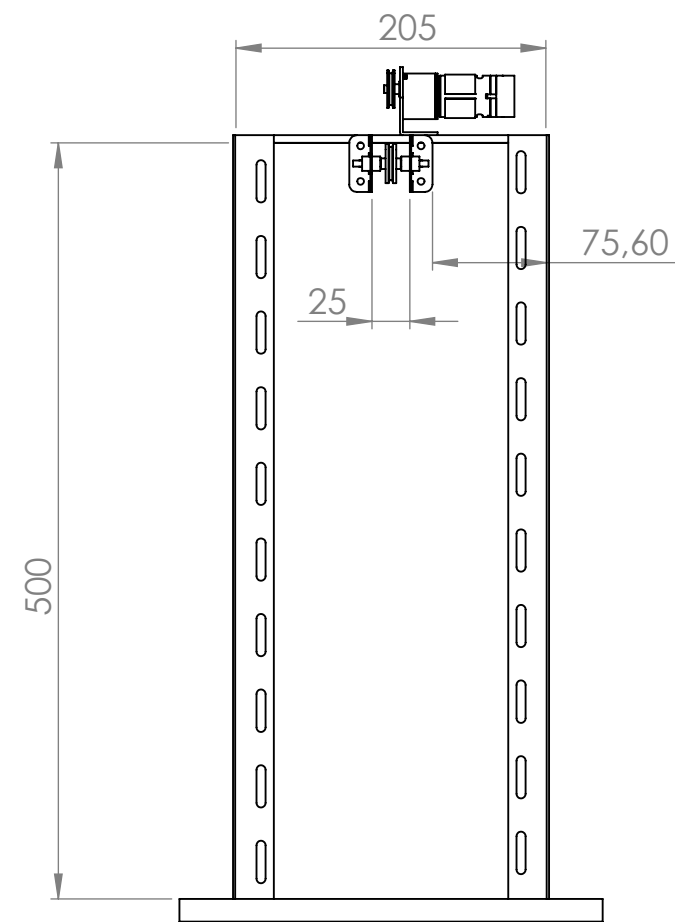
|  |                                   |                                    |   |                          |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL   | Subasseblatge:<br><b>Motor</b>    | Títol:<br><b>Motor i reductora</b> |   | Peça nº:<br><b>nº 47</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>  | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |                                    | Quantitat: <b>1</b>   |                          |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>  | Format:<br><b>DIN A4</b>          | Escala:<br><b>1:1</b>              | Projecció:<br> |                          |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                                   | Massa: <b>146,48 g</b>             | Conformat per:  | <b>74 peces</b>          |



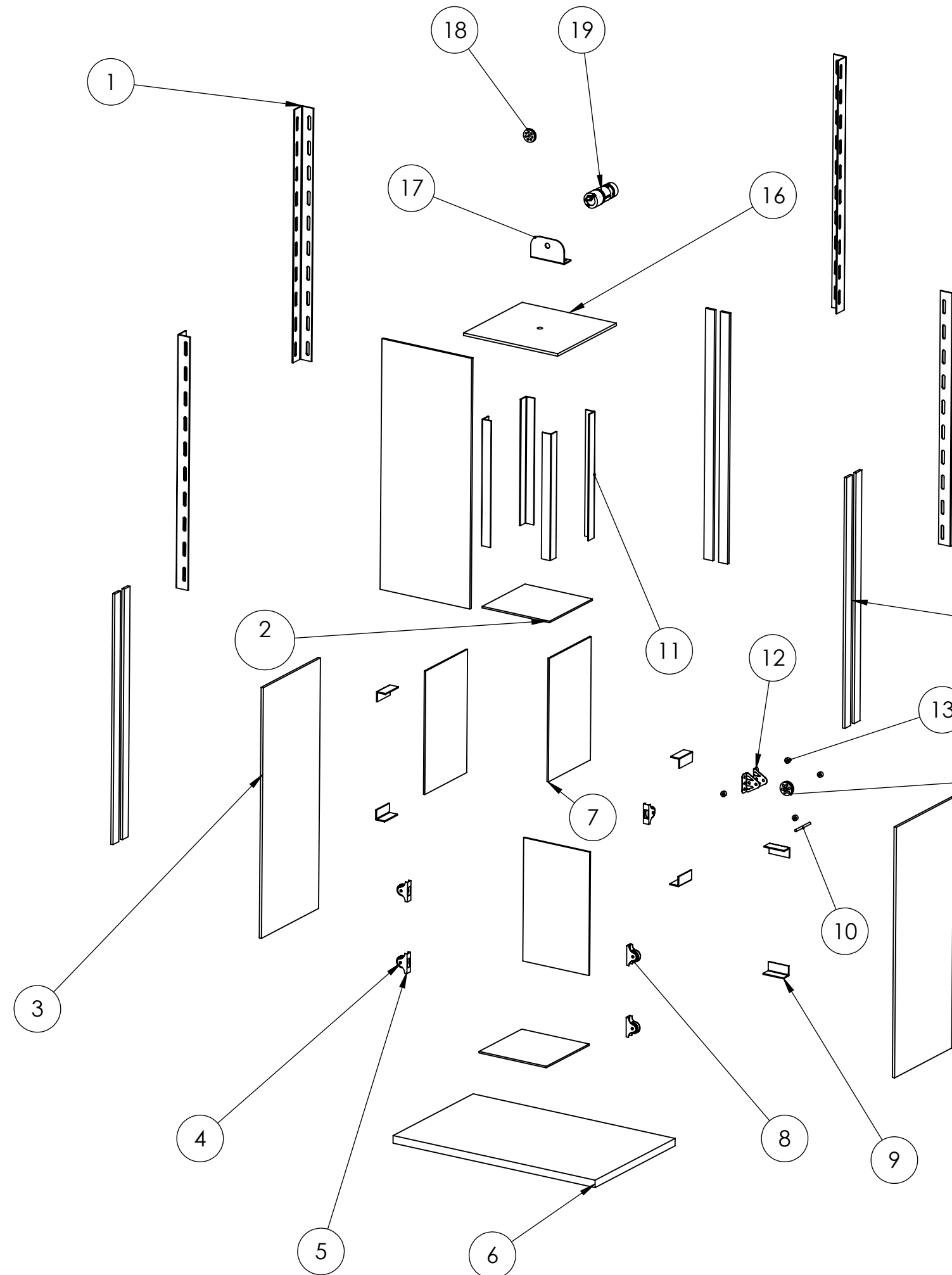
| Número peça * | Nom de la peça                        | Quantitat |
|---------------|---------------------------------------|-----------|
| 1             | Carcassa del motor                    | 1         |
| 2             | Imant de l'estator                    | 2         |
| 3             | Pinça de l'estator                    | 1         |
| 4             | Cilindre del Coixinet del rotor       | 1         |
| 5             | Coixinet del rotor                    | 1         |
| 6             | Eix del rotor                         | 1         |
| 7             | Engranatge de l'eix rotor             | 1         |
| 8             | Làmines del rotor                     | 35        |
| 9             | Tapa de les làmines del rotor         | 2         |
| 10            | Bobinat                               | 3         |
| 11            | anella entre motor i reductora        | 1         |
| 12            | Cèrcol extern de la carcassa          | 1         |
| 13            | Cilindre del coixinet del rotor       | 1         |
| 14            | Xassís de la reductora                | 1         |
| 15            | Engranatge reductora 3 (25 dents)     | 1         |
| 16            | Engranatge reductora 3 (10 dents)     | 1         |
| 17            | Cilindre de la reductora              | 1         |
| 18            | Eix extern de la reductora            | 1         |
| 19            | Engranatge de l'eix extern (36 dents) | 1         |
| 20            | Engranatge reductora 2 (30 dents)     | 1         |
| 21            | Engranatge reductora 2 (15 dents)     | 1         |
| 22            | Engranatge reductora 1 (25 dents)     | 1         |
| 23            | Engranatge reductora 1 (15 dents)     | 1         |
| 24            | Carcassa de l'eix extern              | 1         |
| 25            | Imant de l'encoder                    | 1         |
| 26            | tapa xip encoder                      | 1         |
| 27            | Tapa del xip de l'encoder             | 1         |
| 28            | Tapa de la carcassa del motor         | 1         |
| 29            | Galgues del col·lector                | 1         |
| 30            | Escombretes                           | 2         |
| 31            | Col·lector elèctric                   | 1         |
| 32            | Cargol d'estrella M3 L=5mm            | 2         |
| 33            | Cargol d'estrella M3 L=20mm           | 2         |

\*Identificació de cada peça amb una M davant del seu número de peça

|   |                                   |   |                            |
|---|-----------------------------------|---|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL                               | Subassembles:<br><b>Motor</b>     | Títol: <b>Explosionat del motor i reductora</b> | Plànol n°:<br><b>n° 48</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b> |   | Quantitat: <b>1</b>        |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format: <b>DIN A3</b>             | Escala: <b>1:1</b>                              | Projecció:                 |
| UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Massa: <b>146,48 g</b>            | Conformat per:                                  | <b>74 peces</b>            |



|   |                              |                                  |                                      |                            |
|---|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC<br>I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL  |                              | Subassembles:<br><b>Ascensor</b> | Títol:<br><b>Prototip d'ascensor</b> | Plànol n°:<br><b>n° 49</b> |
| Revisat:  | <b>Oscar Farrerons Vidal</b> |                                  | Data d'entrega:                      | <b>03/10/2017</b>          |
| Dibuixat:   | <b>Aleix Jordà Ferrer</b>    |                                  | Format:                              | <b>DIN A3</b>              |
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est |                              | Escala:                          | <b>1:5</b>                           | Projecció:                 |
|   |                              | Massa: <b>3739,53 g</b>          | Conformat per:                       | <b>56 peces</b>            |



| Número peça* | Nom de la peça                               | Quantitat |
|--------------|--|-----------|
| 1            | Pilar de l'estructura                        | 4         |
| 2            | Tapa de la cabina                            | 2         |
| 3            | Paret lateral                                | 3         |
| 4            | Eix del suport de la rodeta                  | 5         |
| 5            | Suport de la rodeta                          | 5         |
| 6            | Base   | 1         |
| 7            | Paret lateral de la cabina                   | 3         |
| 8            | Roda de la rodeta                            | 5         |
| 9            | Pilar lateral de la cabina                   | 6         |
| 10           | Eix de la politja conductora                 | 1         |
| 11           | Pilar de la cabina                           | 4         |
| 12           | Suport de l'eix de la politja conductora     | 2         |
| 13           | Limitador de moviment de l'eix de la politja | 4         |
| 14           | Politja conductora                           | 1         |
| 15           | Barres guies de la cabina                    | 6         |
| 16           | Paret superior                               | 1         |
| 17           | Suport motor                                 | 1         |
| 18           | Politja motora                               | 1         |
| 19           | Motor  | 1         |

\*Identificació de cada peça amb una A davant del seu número de peça

|   |                                    |   |                            |
|---|------------------------------------|---|----------------------------|
| APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC I EL SEU ANÀLISI GRÀFIC VIRTUAL                               | Subassemlatges:<br><b>Ascensor</b> | Títol: <b>Explosionat del prototip d'ascensor</b> | Plànol n°:<br><b>n° 50</b> |
| Revisat: <b>Oscar Farrerons Vidal</b>   | Data d'entrega: <b>03/10/2017</b>  |   | Quantitat: <b>1</b>        |
| Dibuixat: <b>Aleix Jordà Ferrer</b>   | Format: <b>DIN A3</b>              | Escala: <b>1:5</b>                                | Projecció:                 |
| UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA<br>BARCELONATECH<br>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est | Massa: <b>3739,53 g</b>            | Conformat per: <b>56 peces</b>                    |                            |



TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Mecànica**

**APLICACIÓ D'UN SISTEMA MAGNÈTIC I EL SEU ANÀLISI  
GRÀFIC VIRTUAL**



**Pressupost**

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| <b>Autor:</b>        | Aleix Jordà i Ferrer             |
| <b>Director:</b>     | Oscar Farrerons Vidal            |
| <b>Departament:</b>  | Expressió Gràfica a l'Enginyeria |
| <b>Convocatòria:</b> | Octubre del 2017                 |



# Índex

|  |          |
|--|----------|
| <b>PRESSUPOST</b>  | <b>4</b> |
| <b>I. Capítols de divisió dels costos</b>                      | <b>4</b> |
| 1. Capítol A: Programari informàtic                            | 4        |
| 2. Capítol B: Maquinari electrònic                             | 5        |
| 3. Capítol C: Materials de construcció del prototip d'ascensor | 6        |
| 4. Capítol D: Impressió de les peces dissenyades               | 6        |
| 5. Capítol E: Energia emparada                                 | 7        |
| <b>II. Pressupost d'Execució Material (PEM)</b>                | <b>7</b> |
| <b>III. Pressupost per Execució per Contracte (PEC)</b>        | <b>7</b> |
| <b>IV. Honoraris Professionals</b>                             | <b>8</b> |
| <b>V. Pressupost final</b>                                     | <b>8</b> |

## Pressupost

En el present document s'especifiquen els costos associats a l'elaboració del projecte, així com els costos de la construcció i control del prototip tenint en compte peces i programari usat.

Els costos, per tant, estan dividits en cinc capítols diferents: programari, maquinari, materials de construcció, impressió i energia. En ells s'hi pot veure l'especificació exacte de l'origen del cost.

Per determinar el valor econòmic d'aquest treball se'n calcularà el pressupost d'execució material, pressupost d'execució del contracte i els honoraris de l'enginyer.

### I. Capítols de divisió dels costos

#### 1. Capítol A: Programari informàtic

En la següent taula es poden veure la divisió de costos pertanyents al programari usat per realitzar aquest projecte. El valor de les llicències són les de venda al públic.

| Cap.                         | Núm. | Descripció  | unitats | Preu unitari | Amidament | Preu total        |
|------------------------------|------|---|---------|--------------|-----------|-------------------|
| <b>Programari informàtic</b> |      |   |         |              |           |                   |
| <b>A</b>                     | 1    | Llicència Labview 2016                            | un.     | 399,00 €     | 1         | 399,00 €          |
|                              | 2    | Llicència Arduino 2016                            | un.     | 0,00 €       | 1         | 0,00 €            |
|                              | 3    | Llicència Solidworks Professional 2016            | un.     | 8.250,00 €   | 1         | 8.250,00 €        |
|                              | 4    | Llicència Fritzing                                | un.     | 0,00 €       | 1         | 0,00 €            |
|                              | 5    | Llicència Microsoft Office Professional Plus 2010 | un.     | 99,00 €      | 1         | 99,00 €           |
| <b>Total del capítol</b>     |      |   |         |              |           | <b>8.748,00 €</b> |

## 2. Capítol B: Maquinari electrònic

Tota l'electrònica del projecte es pot veure recollida en la següent taula amb el seu preu de mercat adjunt.

| Cap.                        | Núm | Descripció                                   | unitats | Preu unitari | Amidament | Preu total      |
|-----------------------------|-----|--|---------|--------------|-----------|-----------------|
| <b>Maquinari electrònic</b> |     |  |         |              |           |                 |
| <b>B</b>                    | 1   | Ordinador (2,4GHz - Intel Core i7 - 8GB RAM) | un.     | 700,00 €     | 1         | 700,00 €        |
|                             | 2   | Font d'alimentació 12V - 2,5A                | un.     | 3,01 €       | 1         | 3,01 €          |
|                             | 3   | Microprocessador Arduino UNO                 | un.     | 25,41 €      | 1         | 25,41 €         |
|                             | 4   | Placa MD25                                   | un.     | 49,09 €      | 1         | 49,09 €         |
|                             | 5   | Motor reductor DC EMG30                      | un.     | 30,87 €      | 1         | 30,87 €         |
|                             | 6   | Encoder mecànic                              | un.     | 2,28 €       | 1         | 2,28 €          |
|                             | 7   | Suport motor EGM30                           | un.     | 3,60 €       | 1         | 3,60 €          |
|                             | 8   | Resistències elèctriques                     | un.     | 0,10 €       | 4         | 0,40 €          |
|                             | 9   | Cables electrònics                           | un.     | 0,05 €       | 8         | 0,40 €          |
|                             | 10  | Placa protoboard de connexions electròniques | un.     | 4,95 €       | 1         | 4,95 €          |
| <b>Total del capítol</b>    |     |  |         |              |           | <b>820,01 €</b> |

### 3. Capítol C: Materials de construcció del prototip d'ascensor

En la taula següent se'n pot veure les diferents parts de la construcció del prototip i els costos pertanyents. D'altra banda en alguns casos s'ha posat el preu per unitat d'àrea usada tal com la compra del material.

| Cap.  | Núm | Descripció                         | unitats        | Preu unitari | Amidament | Preu total     |
|---|-----|------------------------------------|----------------|--------------|-----------|----------------|
| <b>Materials de construcció del prototip d'ascensor</b> |     |                                    |                |              |           |                |
| <b>C</b>  | 1   | Pilars metàl·lics de l'estructura  | un.            | 1,80 €       | 4         | 7,20 €         |
|   | 2   | Paret lateral de l'estructura      | m <sup>2</sup> | 12,96 €      | 0,3       | 3,89 €         |
|   | 3   | Paret superior de l'estructura     | m <sup>2</sup> | 10,00 €      | 0,04      | 0,40 €         |
|   | 4   | Base del prototip                  | m <sup>2</sup> | 30,00 €      | 0,126     | 3,78 €         |
|   | 5   | Pilars de plàstic de la cabina     | un.            | 1,45 €       | 4         | 5,80 €         |
|   | 6   | Paret lateral de la cabina         | m <sup>2</sup> | 10,00 €      | 0,108     | 1,08 €         |
|   | 7   | Tapa superior de la cabina         | m <sup>2</sup> | 10,00 €      | 0,045     | 0,45 €         |
|   | 8   | Rodeta guia                        | un.            | 0,50 €       | 5         | 2,50 €         |
|   | 9   | Suport de la politja conductora    | un.            | 1,25 €       | 1         | 1,25 €         |
|   | 10  | Cargols i femelles de fixació      | un.            | 0,05 €       | 12        | 0,60 €         |
|   | 11  | Cargols de fusta                   | un.            | 0,10 €       | 8         | 0,80 €         |
|   | 12  | Suports en forma d'angle per fixar | un.            | 1,20 €       | 6         | 7,20 €         |
| <b>Total del capítol</b>                                |     |                                    |                |              |           | <b>34,95 €</b> |

### 4. Capítol D: Impressió de les peces dissenyades

El cost que equival a la impressió de les peces següents esta recollit a la taula.

| Cap.                                  | Núm. | Descripció                     | unitats | Preu unitari | Amidament | Preu total     |
|---------------------------------------|------|--------------------------------|---------|--------------|-----------|----------------|
| <b>Impressió de peces dissenyades</b> |      |                                |         |              |           |                |
| <b>D</b>                              | 1    | Politja motora                 | h func. | 10,00 €      | 0,45      | 4,50 €         |
|                                       | 2    | Politja conductora             | h func. | 10,00 €      | 0,37      | 3,70 €         |
|                                       | 3    | Suport de l'imant de l'encoder | h func. | 10,00 €      | 0,223     | 2,23 €         |
| <b>Total del capítol</b>              |      |                                |         |              |           | <b>10,43 €</b> |

## 5. Capítol E: Energia emprada

L'energia usada pel funcionament i realització del projecte està recollida i desglossada següidament.

| Cap.                     | Núm. | Descripció                                  | unitats | Preu unitari | Amidament | Preu total    |
|--------------------------|------|---|---------|--------------|-----------|---------------|
| <b>Energia emprada</b>   |      |   |         |              |           |               |
| E                        | 1    | Energia consumida per l'ordinador           | kWh     | 0,11499 €    | 15,6      | 1,79 €        |
|                          | 2    | Energia consumida per la font d'alimentació | kWh     | 0,11499 €    | 1,8       | 0,21 €        |
|                          | 3    | Energia de la làmpada d'escriptori          | kWh     | 0,11499 €    | 0,72      | 0,08 €        |
| <b>Total del capítol</b> |      |   |         |              |           | <b>2,08 €</b> |

## II. Pressupost d'Execució Material (PEM)

El pressupost d'execució material, el PEM, és aquell recull de costos que inclou a més de les despeses de cost directe, suma dels preus dels components, les despeses de cost indirecte. Següidament en tenim la taula amb la informació.

| Capítol                                     | Descripció del Capítol                           | Cost              |
|---|--|-------------------|
| A   | Programari informàtic                            | 8.748,00 €        |
| B   | Maquinari electrònic                             | 820,01 €          |
| C   | Materials de construcció del prototip d'ascensor | 34,95 €           |
| D   | Impressió de peces dissenyades                   | 10,43 €           |
| E   | Energia emprada                                  | 2,08 €            |
| <b>PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL (PEM)</b> |  | <b>9.615,47 €</b> |

## III. Pressupost per Execució per Contracte (PEC)

El pressupost per execució per contracte, el PEC, és aquell que afegeix al preu anterior les despeses generals d'empresa, benefici industrial i IVA.

| Concepte   | Cost               |
|--|--------------------|
| PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL (PEM)             | 9.615,47 €         |
| 13% de Benefici Industrial                       | 1.250,01 €         |
| 6% d'Imprevistos                                 | 576,93 €           |
| <i>Total</i>                                     | 11.442,41 €        |
| 21% d'IVA  | 2.402,91 €         |
| <b>PRESSUPOST D'EXECUCIÓ PER CONTRACTE (PEC)</b> | <b>13.845,32 €</b> |

#### IV. Honoraris Professionals

Finalment en la següent taula es recull els honoraris totals de l'enginyer redactor del projecte segons les hores de dedicació d'aquest.

| Concepte                | Preu unitari l'hora | Hores dedicades | Cost               |
|-------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| Redacció del projecte   | 50,00 €             | 240             | 12.000,00 €        |
|                         | 21% d'IVA           |                 | 2.520,00 €         |
| <b>Honoraris totals</b> |                     |                 | <b>14.520,00 €</b> |

#### V. Pressupost final

Aquest treball té el següent pressupost final, comptant tots els costos de construcció, control, energètics, els beneficis d'enginyer i empresa i els impostos pertanyents a la realització del projecte.

|   |                    |
|---|--------------------|
| PRESSUPOST D'EXECUCIÓ PER CONTRACTE (PEC)                 | 13.845,32 €        |
| HONORARIS DE L'ENGINYER                                   | 14.520,00 €        |
| <b>Ascendeix el present pressupost a la quantitat de:</b> | <b>28.365,32 €</b> |